Lernprozesse im Physikunterricht

Falluntersuchungen im Unterricht zur
Elektrostatik aus konstruktivistischer Sicht

vorgelegt dem Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik)
der Universität Bremen zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

von
Hans Ernst Fischer
Bremen

1989

UNIV.
LEIDEN
NIL.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543102_0004

Lernprozesse im Physikunterricht

Falluntersuchungen im Unterricht zur
Elektrostatik aus konstruktivistischer Sicht

vorgelegt dem Fachbereich I (Physik/Elektrotechnik)
der Universität Bremen zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

von
Hans Ernst Fischer
Bremen

Tag des öffentlichen Kolloquiums:

10. Juli 1989

Gutachter der Dissertation:

Prof. Dr. St. v. Aufschnaiter
Prof. Dr. H. Schwedes

I	**Einleitung**	**1**
II	**Der theoretische Teil**	**3**
1	**Vorbemerkungen**	**3**
2	**Denkprozesse**	**7**
2.1	Die kognitive Struktur	7
2.2	Das Entstehen kognitiver Strukturen	8
2.3	Der Wahrnehmungsraum	10
2.4	Der Zusammenhang zwischen kognitiver Welt und Realität.	15
2.6	Die Abgeschlossenheit und die Veränderbarkeit kognitiver Systeme	20
2.7	Zusammenfassung	22
3	**Ein Modell für den Aufbau kognitiver Strukturen**	**24**
3.1	Entstehung und Eigenschaften subjektiver Erfahrungsbereiche	24
3.2	Die Funktion der Erwartung bei der Organisierung von Wahrnehmung und Verhalten durch subjektive Erfahrungsbereiche.	28
3.3	Die Feinstruktur subjektiver Erfahrungsbereiche	30
3.4	Lernen als Entwicklung subjektiver Erfahrungsbereiche	36
3.5	Zusammenfassung	38
4	**Subjektivität und Kommunikation**	**39**
4.1	Subjektivität der Sprache	39
4.2	Kommunikation und Verhalten in einer sozialen Umgebung	41
4.3	Zusammenfassung	43
III	**Der Unterricht**	**44**
1.	**Planungsvorgaben**	**44**
2.	**Die Unterrichtseinheit**	**45**
2.1	Die Konzeption	45
2.2	Die einzelnen Doppelstunden der Unterrichtseinheit	46
IV	**Die Methode**	**51**
1	**Einführung**	**51**
2	**Die Beobachtung**	**53**
2.1	Beobachtung als Interaktion zweier selbstreferentieller Systeme.	53

2.2	Der symbolische Interaktionismus	53
2.3	Eine sozialwissenschaftliche Begründung für die Möglichkeit der Interpretation von Schülerinteraktion	55
2.4	Die Kasusgrammatik	58
2.4	Zusammenfassung	59
3	**Die Darstellung der Interpretationsschritte**	**60**
3.1	Das Transkript	60
3.2	Das Verlaufsprotokoll	75
3.3	Das Ideenprofil	88
3.4	Die Konstruktion der Wahrnehmungsebenen	92
3.5	Zusammenfassung	93
V	**Die Analyse**	**94**
1	**Einführung**	**94**
2	**Beispiel für den Aufbau eines subjektiven Erfahrungsbereichs**	**96**
2.1	1. Doppelstunde/Tanja	96
2.1.1	Die Handlungsorganisation	96
2.1.2	Handlungsphase 1	97
2.1.3	Handlungsphase 2	101
2.1.4	Handlungsphase 3	104
2.2	1. Doppelstunde/Jens	107
2.2.1	Die Handlungsorganisation	107
2.1.2	Handlungsphase 1	108
2.1.3	Handlungsphase 2	110
2.1.4	Handlungsphase 3	114
2.3	2. Doppelstunde/Tanja	121
2.3.1	Die Handlungsorganisation	121
2.3.2	Handlungsphase 1	121
2.3.2	Handlungsphase 2	122
2.3.3	Handlungsphase 3	126
2.4	2. Doppelstunde/Jens	130
2.4.1	Die Handlungsorganisation	130
2.4.2	Handlungsphase 1	131
2.4.3	Handlungsphase 2	132
2.4.4	Handlungsphase 3	132

2.5	Die Konstruktion des subjektiven Erfahrungsbereichs "Erfahrung mit Elektrostatik"	140
2.5.1	Zusammenfassung der Verhaltensanalyse einer Schülerin in den erstenbeiden Doppelstunden	141
2.5.2	Zusammenfassung der Verhaltensanalyse eines Schülers in den ersten beiden Doppelstunden	144
2.5.3	Elemente, die die Entwicklung einer Struktur fördern	145
2.5.4	Elemente, die die Entwicklung einer Struktur hemmen	147
2.5.5	Einflüsse anderer Schüler und des Lehrers auf die Bildung einer Struktur	147
3	**Die Veränderung des Objekts "Ladung" bei der Schülerin im Verlauf der Unterrichtseinheit**	**149**
3.1	3. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	149
3.2	3. Doppelstunde, 2. Handlungsphase	151
3.3	3. Doppelstunde, 3. Handlungsphase	152
3.4	3. Doppelstunde, 4. Handlungsphase	153
4.1	4. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	155
5.1	5. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	161
6.1	6. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	166
6.2	6. Doppelstunde, 2. Handlungsphase	168
6.3	6. Doppelstunde, 3. Handlungsphase	169
7.1	7. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	171
8.1	8. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	174
8.2	8. Doppelstunde, 2. Handlungsphase	175
8.3	8. Doppelstunde, 3. Handlungsphase	178
8.4	8. Doppelstunde, 4. Handlungsphase	180
8.5	8. Doppelstunde, 5. Handlungsphase	182
8.6	8. Doppelstunde, 6. Handlungsphase	183
9.1	9. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	185
9.2	9. Doppelstunde, 2. Handlungsphase	191
10.1	10. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	191
11.1	11. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	194
11.2	11. Doppelstunde, 2. Handlungsphase	196
11.3	11. Doppelstunde, 3. Handlungsphase	199
12.1	12. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	201
12.2	12. Doppelstunde, 2. Handlungsphase	202
12.3	12. Doppelstunde, 3. Handlungsphase	206

13.1	13. Doppelstunde, 1. Handlungsphase	208
13.2	13. Doppelstunde, 2. Handlungsphase	210
14	**Übersicht über die Entwicklung des Objekts "Ladung" bei einer Schülerin**	**213**
V	**Zusammenfassung**	**224**
1	**Zur Theorie**	**225**
1.1	Der radikale Konstruktivismus	225
1.2	Subjektive Erfahrungsbereiche	227
2	**Zum Unterricht**	**229**
3	**Zur Methode**	**229**
3.1	Grundlegende Annahmen für eine Beobachtung	229
3.2	Die Durchführung der Analyse	230
4	**Zur Analyse**	**231**
4.1	Die Entwicklung von Objekten innerhalb subjektiver Erfahrungsbereiche	231
4.2	Die Interne Logik des subjektiven Erfahrungsbereichs	232
4.3	Die rekursive Entwicklung kognitiver Strukturen	233
4.4	Die Orientierbarkeit bei der Bildung kognitiver Konstruktionen	234
4.5	Die Entwicklung der Sprache und die Orientierbarkeit	235
4.6	Abgeschlossenheit als Ordnungsprinzip eines subjektiven Erfahrungsbereichs	236
5	**Schlußwort**	**237**

I Einleitung

Mit den Entwicklungen in Neurobiologie und Psychologie scheint sich der Schwerpunkt wissenschaftlicher Bemühungen in der Didaktik der Physik zu verlagern. In vielen Untersuchungen steht nicht mehr im Vordergrund, das Angebot an die Schüler nach vielfältigen Kriterien aufzubereiten, sondern, in Verbindung mit kognitionspsychologischen <(Seiler, 1973) (Rumelhart, 1980) (Bauersfeld, 1983) (Maichle, 1985) usw.> oder neurophysiologischen Ansätzen <(Bower/Hilgard, 1981) (Radigk, 1986) (Novak, 1987) usw.> die individuellen kognitiven Bedingungen für Lernen zu erforschen. Aus einigen anderen Forschungsergebnissen der letzten Jahre wird die Notwendigkeit hierzu ebenfalls deutlich. Es scheint so, daß unabhängig von der Art des Unterrichts und vom unterrichtenden Lehrer physikalische Begriffe von Schülern in der Regel unzusammenhängend, häufig physikalisch unadäquat und zum Teil in der Art von Vokabeln reproduziert werden. Die Erhebung von "Vorverständnissen" (Schecker, 1985) (Jung, 1986) (v. Rhöneck, 1986), Erstellung von "Schemata" (Maichle, 1986) oder der Versuch, "conceptual change" zu initiieren (Driver, 1986), scheinen die Ursachen für diese Phänomene nicht klären zu können. Um weiterführende Konstruktionen von Schülerverhalten im Physikunterricht und Konstruktionen möglicher kognitiver Grundlagen erstellen zu können, muß an einzelnen Schülern beobachtet werden, wie sie mit der ihnen dargebotenen Lernumgebung umgehen und sich in ihr verhalten.

In dieser Arbeit sollen eine Schülerin und ein Schüler einer 10. Klasse eines gymnasialen Zweiges der Sekundarstufe I einer Bremer Schule während 13 Doppelstunden des Physikunterrichts zur Elektrostatik und zur elektrischen Spannung beobachtet werden. Ziel ist es, Aussagen über Denk- und Lernprozesse dieser Schüler zu machen. Die Methode wird in Kapitel III begründet. Die besondere Beschaffenheit der Daten, -es mußten die Videobänder von 13 Doppelstunden Unterricht ausgewertet werden-, erforderte den Einsatz eines Computers. Die besonderen Möglichkeiten und zu schaffenden Grundlagen, die sich hieraus ergeben haben bzw. dazu notwendig waren, werden ebenfalls in diesem Kapitel dargestellt. Wie bereits in der Einleitung angedeutet, soll die Analyse der Interaktionen der Schüler/innen unter besonderer Berücksichtigung eines konstruktivistischen Ansatzes erfolgen. Da bisher eine entsprechende Theorie nicht existiert, sondern nur den einzelnen Forschungsbereichen Arbeitshypothesen entnommen werden können, soll in Kapitel II versucht werden, diese unterschiedlichen Arbeitshypothesen und theoretischen Ansätze zusammenzubringen und zu einer für die Untersuchung brauchbaren theoretischen Grundlage zu verbinden. In Kapitel IV wird über die

Unterrichtseinheit berichtet. Dies ist notwendig, weil sie in Zusammenarbeit mit dem Lehrer im Hinblick auf die Untersuchung geplant wurde. Die Unterrichtseinheit enthält lange Phasen handlungsorientierten Unterrichts, eine wichtige Voraussetzung dafür, daß Schülerhandlungen über Sprechhandlungen hinaus überhaupt zu beobachten waren. Kapitel V enthält die Analyse der Daten. Es wird versucht, die Lernprozesse einer Schülerin und eines Schülers anhand von *Ideenprofilen* zu entwickeln. Ideen der Schülerin/des Schülers zu einzelnen ausgewählten Begriffen (z.B. Spannung oder Gebrauch der Glimmlampe) werden über 13 Doppelstunden Unterricht in ihrer Entwicklung verfolgt und auf besondere Bedingungen bezüglich der Entstehung der Ideen untersucht. In Kapitel VI soll versucht werden, die Untersuchungergebnisse zusammenzufassen und sie für Unterricht und weitere Forschung nutzbar zu machen.

II Der theoretische Teil

1. Vorbemerkungen

> "Nichts ist sicherer, als daß unser Verhalten durch Vorgänge in unserem Nervensystem bestimmt wird. (...) Deshalb ist es eigentlich verwunderlich, warum Theorien des gelernten Verhaltens in ihrem Inhalt, in ihren Begriffen und in ihren Bezügen nicht stärker ausdrücklich neurophysiologisch orientiert gewesen sind."
> (Bower/Hilgard, 1984, 299)

Lerntheorien sind bis heute hauptsächlich Beschreibungen des Lernsystems Mensch mit deskriptiv behaviouristischen Methoden, allerdings manchmal mit dem viel höheren Anspruch, die Funktionalität kognitiver Strukturen erforschen zu wollen.

PAIVIO nennt unterschiedliche Modelle für die Beschreibung der Repräsentation der Umwelt im Gehirn. Immer ist die Rede davon, daß Bilder, Beschreibungen, Zeichen oder Symbole, maps und Propositionen das repräsentieren, was in der Realität, um das Individuum herum, tatsächlich existiert. Die weitere Diskussion geht dann folgerichtig auch immer um den Charakter dieser Repräsentationen, z.B. als konkrete/abstrakte oder bildhafte/sprachliche. Man erkennt schnell die entstehenden Schwierigkeiten, wenn Repräsentation zum Prinzip erklärt wird: Beides, bildhafte wie sprachliche Repräsentation, kann in individuell unterschiedlichen Ausprägungen abstrakt oder konkret sein. Es kann somit von diesem Standpunkt aus nicht geklärt werden, welchen Charakter kognitive Funktionen letztlich besitzen. PAIVIO formuliert das Problem selbst, ist beim Finden eines Auswegs aber wenig hilfreich, weil er dem Gedanken der Repräsentation verhaftet bleibt:

> "The above analysis highlights the selfembedded nature and, therefore, the complexity of the problem entailed by mental representations. Such phenomena as imagines and language have representational functions but, by one account at least, they are themselves caused by mental representations."
> (Paivio, 1986, 19)

PAIVIO schlägt folgende Lösung des Problems vor:

Zur Beschreibung dieser neuen mentalen Repräsentation konstruiert er eine Ebene, die er "terms of theoretical description" nennt. Er hat somit die mentale Repräsentation einer mentalen Repräsentation geschaffen, die seiner Meinung nach dann nur noch theoretisch beschrieben werden muß. Damit wird das Problem nur verlagert und nicht gelöst.

Von der selben Problemstellung geht ein anderer Ansatz aus, der von OERTER vorgeschlagen wird:

> "Der Versuch, kognitive Prozesse möglichst auf ein Prinzip zurückzuführen, das gewissermaßen selbst für Strukturierung sorgt (man denke etwa an die gestaltpsychologische Position) wird verständlich, wenn man nach dem Urheber des aktiven Planens, Probierens und Vorgehens fragt. Ist es ein Homunkulus im Gehirn, ausgestattet mit ähnlichen Funktionen, wie einstmals die Person als Zentrum des Agierens? Aus dem Dilemma, trotz der theoretischen Annahme einer Exekutive nicht auf eine mystische Einheit rekurrieren zu müssen, führten im Bereich kognitiver Prozesse wohl erstmals die Simulation von Denkvorgängen auf elektronischen Rechenanlagen."
> (Oerter, 1972, 56)

Heute wird deutlich, daß diejenigen Modelle, die mehr oder weniger explizit davon ausgehen, daß das menschliche Gehirn wie ein Computer organisiert ist, der aufgrund eingegebener Daten seine Repräsentation der Umwelt errechnet, allenfalls in der Lage sind, einfache Teilaspekte mentaler Prozesse zu beschreiben, wobei der Aufwand, der jeweils getrieben wird, in keinem Verhältnis zu den tatsächlich gelösten Problemen steht. Dies liegt daran, daß versucht wird, dem Denken und Lernen Konstruktionsprinzipien zu unterstellen, die in anderen Systemen (Computern) zwar erfolgreich angewandt werden können, deren Anwendbarkeit auf Teilfunktionen des Gehirns aber ausschließlich funktional und nicht grundlegend, durch den Vergleich der Systeme, abgesichert werden.

Einige Indizien sprechen dafür, daß das menschliche Gehirn auf keinen Fall wie eine Maschine konstruiert ist, wie es von einigen Theorien im Verlaufe der Geschichte verschiedener Wissenschaften angenommen wurde und teilweise immer noch wird. Zur Beschreibung von Denken wurde immer wieder die gerade komplizierteste Technologie herangezogen. Die Idee, daß das menschliche Gehirn (das Gehirn aller Wirbeltiere) nicht wie eine Uhr oder eine Rechenmaschine funktioniert, ist inzwischen unbestritten. Noch nicht allgemein anerkannt ist, daß auch ein Computer weder die Funktionsweise eines Gehirns besitzt, noch sie beschreiben kann, obwohl zwei grundlegende Widersprüche zwischen Computer und menschlichem Gehirn offensichtlich sind. Die einen sind (mehr oder weniger) fremdreferentielle Systeme, während die anderen, wie ich noch genauer darlegen werde, ihre eigenen funktionalen Prinzipien von Anfang an selbst entwickeln, und, vielleicht die Ursache dieses unterschiedlichen Funktionsprinzips, sie sind für grundlegend unterschiedliche Anwendungsgebiete entstanden bzw. entwickelt.

Vom Menschen (und nicht von anderen Systemen) geht ein anderer Ansatz aus, der die kognitive Entwicklung als komplexen Prozeß beschreibt, der in qualitativ voneinander getrennten Stufen kognitiver Reife geordnet werden kann. Durch die Formulierung von

Organisationsprinzipien verläßt AUSUBEL die ausschließlich beschreibende Ebene. Außerdem grenzt er sich ausdrücklich von Computermodellen ab:

> "Wir haben schon an früherer Stelle darauf hingewiesen, daß sich die Fähigkeiten der Verarbeitung und Speicherung von Information beim Menschen - im Gegensatz zum Computer - als Funktion von Lebensalter und Erfahrung verändern."
> (Ausubel, 1980, 249)

Ein anderer wesentlicher Bestandteil des Ansatzes von AUSUBEL ist die Beschreibung der Entwicklung der kognitiven Feinstruktur beim "sinnvollen Lernen" als *Assimilation*:

> "Wenn eine neue Idee *a* sinnvoll gelernt und mit der relevanten etablierten Idee *A* verbunden wird, werden beide Ideen modifiziert und *a* wird in die etablierte Idee *A assimiliert.*"
> (Ausubel, 1980, 159)

Produkt einer Interaktion ist, nach dem Assimilationsprozeß, eine neue Idee, die aus dem Komplex der modifizierten Ideen *A'a'* besteht.

Dieser Ansatz führt zu einer Vorstellung vom Aufbau kognitiver Strukturen. AUSUBEL spricht von einer hierarchisch angeordneten Pyramide von Begriffen, deren Spitze die jeweils komplexeste Idee enthält. Grundlegende Annahme ist dabei, daß die Realität (die uns umgebende Umwelt) durch "einen begrifflichen und kategorialen Filter" (ebenda, 117) erfahren und als (venetzte) begriffliche Struktur gespeichert ist. AUSUBEL hält es für eine mögliche Beschreibung des Verhältnisses

> "(...) der begrifflichen Wirklichkeit zu der phänomenologischen (...)", die begriffliche Wirklichkeit als eine selektive schematische Version der phänomenologischen Wirklichkeit aufzufassen."
> (ebenda, 119)

Diese These beruht auf der Annahme, daß Information aus der Realität von unseren Sinnesorganen (selektiv) aufgenommen und auf der Grundlage bereits vorhandener Strukturen verarbeitet wird. AUSUBEL bezieht Selektivität auf Wahrnehmung und auf Begriffsbildung, schließt also eine eindeutige (selektive) Abbildung der Realität in der kognitiven Struktur nicht aus.

Mein Ziel ist es, Denk- und Lernprozesse zu konstruieren, deren Auswirkungen auf Interaktionen im Unterricht zu beobachten (interpretieren) sind. Da es keine didaktische Theorie gibt, die hierzu brauchbar wäre, allenfalls in der Didaktik benutzte lerntheoretische Ansätze der Psychologie, muß die theoretische Absicherung des Ziels fachfremd erfolgen. Ein Ansatz, der all jene Aspekte berücksichtigt, die für die Konstruktion von Lernprozessen notwendig sind, ist ein dem Konstruktivismus verpflichteter, neurobiologisch abgesicherter Ansatz, weil er den Menschen konsequent als komplexes, unab-

hängiges System mit eigenen Organisationsprinzipien begreift und weil Vorstellungen von Wahrnehmung, Begriffsbildung (Aufbau kognitiver Strukturen), Information, Kommunikation, Interaktion und der Rolle des Beobachters im Ansatz enthalten sind. Der Bezug auf neurobiologische Forschungsergebnisse scheint mir notwendig, weil dadurch Irrwege vermieden werden können. Wird z.B. Informationsentnahme aus der Realität ein Bestandteil der eigenen Vorstellung von Wahrnehmung (diese Vorstellung läßt sich wie bei AUSUBEL aus Interaktionsanalysen konsistent in einen theoretischen Ansatz integrieren), lassen sich daraus bestimmte Schlußfolgerungen für den Aufbau kognitiver Strukturen und deren Manipulierbarkeit ziehen. Dieser Ansatz ist aber neurobiologisch nicht haltbar. Es ist unumstritten, daß unsere Sinnesorgane nicht in der Lage sind, Informationen aus der Realität zu entnehmen, daß für die Verbindung des Menschen mit der Realität andere Vorstellungen entwickelt werden müssen als z.B. von AUSUBEL noch zugelassen. Der Ansatz, daß das menschliche Gehirn (als Organisationszentrale für Handeln) ein autonomes System sei, das die Bedingungen des eigenen Operierens und damit die Grundlagen des Handelns des gesamten Organismus selbst schafft, wurde bisher in der Didaktik der Physik nicht konsequent angewandt. Ich gehe davon aus, daß immer dann, wenn Ausschnitte von Verhalten anderer Menschen nach wissenschaftlichen Konstrukten interpretiert werden sollen, es nicht ausreicht, auf die Ausschnitte zurechtgelegte theoretische Teilkonstrukte zu benutzen, selbst wenn sie in sich logisch sein sollten. Es besteht also das Problem, eine möglichst grundlegende theoretische Beschreibung des kognitiven Systems des Menschen zu finden, die das Verhalten und seine Beobachtung einschließt. Diese Beschreibung muß über die Strukturierung von Verhaltensbeobachtungen mit internen, dem Verhalten entnommenen Kriterien hinausgehen. Ein Anfang soll hier versucht werden.

2. Denkprozesse

2.1 Die kognitive Struktur

Gegenstand meiner Untersuchung sind Denk- und Lernprozesse im Unterricht, also letztlich die Aktivierung und Veränderung kognitiver Strukturen bei einzelnen Schülern. Um über eine einfache Beschreibung dieser Interaktionen hinauszukommen, muß man beim Individuum Funktionen unterstellen, die die Elemente dieser Interaktion - Verhalten und Wahrnehmung - situationsadäquat organisieren können. Die Gesamtheit dieser Funktionen eines Menschen bezeichne ich als kognitive Struktur. Da eine solche Struktur ohne menschliches Nervensystem nicht denkbar ist, werde ich zunächst eine Beziehung zwischen neuronaler und kognitiver Struktur herstellen. Neuronale Strukturen und Muster sind Gegenstand biologischer und physiologischer Forschung. Der Blick ist auf funktionale Zusammenhänge im Nervensystem gerichtet. Der Begriff kognitive Strukturen beschreibt die Strukturen, die, als Funktion neuronaler Strukturen, mit Wahrnehmung und Verhalten in Verbindung gebracht werden können. Oder: Kognitive Strukturen sind die strukturellen Grundlagen, die das Individuum auf der Basis neuronaler Musterung für sein Verhalten entwickelt hat. Auf diesem Wege finden kognitive Strukturen ihren Niederschlag im Handeln (Verhalten). Individuelles Handeln wiederum ist der Beobachtung und Interpretation zugänglich, im Zusammenhang mit kognitiven Strukturen eines Beobachters also auch situativer Ausgangspunkt einer Musterung beim Beobachter.

Die Differenzierung zwischen kognitiv und neuronal ist letztlich nur auf philosophischer Ebene zu diskutieren. Es ist die Frage nach dem, was das Sein des Menschen ausmacht. Ich gehe von einer Konstruktion aus, die die Differenz zwischen Neuronentätigkeit und menschlichem Geist als beliebig klein ansieht, also keine den neuronalen Funktionen übergeordnete Instanz erwarten wird (Seele, unabhängiger Geist usw.), die die kognitive Struktur des Menschen und damit sein Verhalten bestimmt.

Eine zweifache Absicherung meiner Analyse von Schülerverhalten muß also erfolgen: Die Konstruktion darf dem aktuellen Stand neurobiologischer Forschung nicht widersprechen, und sie muß mit dem Verhalten des beobachteten Individuums erklärt werden können. Da kognitive Strukturen das Verhalten eines Individuums in einer bestimmten Situation verursachen, müssen Konstruktionen dieser Strukturen aus der Beobachtung des Verhaltens eines Individuums erschlossen werden können.

2.2 Das Entstehen kognitiver Strukturen

Die Frage nach dem Entstehen kognitiver Strukturen ist, im Hinblick auf Lernprozesse, von grundlegender Bedeutung. Das in dieser Arbeit zu entwerfende Modell vom Lernen, also der Entwicklung kognitiver Strukturen, darf den radikalsten Theorien über ihre Entwicklung nicht widersprechen. Nach Theorien der Gestaltpsychologie ist das Gedächtnis in einer frühen Phase der individuellen Entwicklung ungeordnet und instabil. Es wird nun postuliert, daß nach internen ordnungsbildenden Prinzipien das Bezugssystem des Denkens vom Wahrnehmungssystem selbst hergestellt wird. Als Beispiel nenne ich einige Ordnungsprinzipien des visuellen Systems:

1.

> "Kontrastbildung ist ein allgemeines Organisationsprinzip für die Empfindung von Unterschieden der Reizintensität, welches in allen Sinnesgebieten wirksam wird." (Stadler et al, 1975, 152)
> "(Der) Randkontrast entsteht durch eine spezifische Verschaltungsform der einzelnen Sinnesnerven untereinander."
> (ebenda, 153)

2. Die drei Gegenfarbsysteme blau-gelb, grün-rot und schwarz-weiß

> "(...) sind mit den drei fotochemischen Absorptionstypen α, ß und γ in Verbindung (zu) bringen.
> (ebenda, 156)

3. Das autokinetische Prinzip bewirkt, daß das Gehirn bei einem ruhenden Lichtpunkt im Dunkelraum selbst eine scheinbare Bewegung des Punktes erzeugt.

4. Da der physikalische Raum

> "zweidimensional abgebildet wird, benötigt das visuelle System Kriterien (oder >>Cues<<), nach denen es die Tiefenerstreckung rekonstruieren kann."
> (ebenda, 159)

Zwei Beispiele für diese Cues sind die *Konvergenz der Blickachsen* und der *Ausgleich der binokularen Parallaxendifferenz.*

5. Es gibt

> "(...) Analysatoren für Vertikalität und Horizontalität, die unabhängig von der Kopf- oder Körperbewegung objektiv vertikale bzw. horizontale Linien erkennen."
> (ebenda, 170)

Diese und andere Ordnungsprinzipien sind teilweise genetisch angelegt, werden aber auch häufig erst in sensiblen Phasen des individuellen Entwicklungsprozesses epigene-

tisch gebildet. Hat das Individuum während der entsprechenden sensiblen Phase keinen Zugang zu adäquaten Reizen, bildet das Ordnungssystem das zugehörige Prinzip nicht aus. Dies kann als Sensibilität des Ordnungssystems für in der Realität vorhandene Strukturen bezeichnet werden.

Es kann davon ausgegangen werden, daß solche Ordnungsprinzipien, und damit wesentliche Teile der kognitiven Struktur, in frühen Phasen der individuellen menschlichen Entwicklung gebildet werden und weitere Strukturveränderungen diesen unterzuordnen sind.

Psychologie, Neurophysiologie und Neurobiologie sind bisher nicht über die Beschreibung visueller, sensorischer und auditiver Wahrnehmung hinausgekommen. Dennoch ist offensichtlich, daß im Gehirn in allen Bereichen dieselben funktionalen Organisationsprinzipien herrschen.

> "Die anatomische und funktionale Organisation des Nervensystems ist im wesentlichen uniform. In allen seinen verschiedenen Teilen werden die gleichen Funktionen und Operationen (Erregung, Hemmung, laterale Interaktion, rekursive Inhibition etc.) ausgeführt, wenn auch in verschiedenen Kontexten und auf verschiedene Weise integriert."
> (Maturana, 1985, 47)

Sinnesverarbeitung (Wahrnehmung) findet außerdem parallel zu Gedächtnisprozessen statt. Zwischen Wahrnehmung und Gedächtnis kann neurophysiologisch nicht getrennt werden.

Auch ROTH spricht davon, daß es keinen Hinweis für die besondere funktionale Auszeichnung einzelner Bereiche des Gehirns gibt, was die Annahme unterschiedlicher Organisationsprinzipien für Wahrnehmung auf der einen und ihre Weiterverarbeitung auf der anderen Seite rechtfertigen könnte.

> "This simply means that the activity of all those centers which are involved in abstract and meaningful perception, has to be accompanied by the activity of all those centers which represent the details of perception. When we perceive a complex, meaningful situation, certain centers such as A 17 and 18 give us the perceptual details, whereas parietal and temporal centers perform a complex form and motion analysis which finally leads to gestalt perception and cognition. If we look at the "wiring diagram" of the major visual areas of the primate cortex, we instantly see that there is a high degree of "cross talk" between all those centers, i.e. they influence each other reciprocally. Furthermore, all these cortical centers have their own seprate output back to thalamic and mesencephalic centers as well as to cortical motor centers."
> (Roth, 1988, 17)

Man kann also postulieren, daß nicht nur Wahrnehmung, sondern auch ihre Weiterverarbeitung (unter Einbeziehung des Gedächtnisses), bis zur Organisierung von Handeln, auf der Grundlage derselben internen Ordnungsprinzipien und neuronalen Funktionen

geschieht. Diese Organisationsprinzipien sind von Psychologen und Neurobiologen anhand der Beobachtung vergleichsweise einfach strukturierter Prozesse postuliert worden. Die in dieser Arbeit zu untersuchenden Interaktionen sind aber immer Ergebnis weitaus komplexerer Prozesse im Gehirn. Die Unterstellung, daß die bisher neurobiologisch und psychologisch konstruierten Organisationsprinzipien denen komplexerer kognitiver Konstrukte zumindest nicht widersprechen dürfen, ist eine wichtige Randbedingung für die Beobachtung von Interaktion und der daraus abgeleiteten Konstruktion von Denk- und Lernprozessen.

2.3 Der Wahrnehmungsraum

Nachdem die grundlegenden Mechanismen menschlicher Wahrnehmung umrissen sind, geht es um den Charakter des Wahrgenommenen oder, anders beschrieben, um die Beziehung zwischen Wahrnehmung und Bedeutung.

Die folgenden Fragen werden, mehr oder weniger explizit, von jedem Lehrer in der Unterrichtspraxis immer wieder thematisiert. Sie zeigen, wie wichtig es ist, sich in didaktischer Praxis und Theorie mit dem Problem der Bedeutung auseinanderzusetzen:

- Welche Prozesse werden beim Schüler initiiert, wenn ihnen im Physikunterricht vom Lehrer gestaltete Realität dargeboten wird?
- Welchen Charakter hat das Dargebotene bezüglich seiner Wirkung auf die kognitive Struktur des Schülers?
- Kann der Schüler Bedeutung anders zuweisen, als der Lehrer es beabsichtigt?
- Wie kommt es, daß Schüler immer wieder Inhalte nicht wahrnehmen und als Folge davon nicht verfügbar haben, die nach Meinung des Lehreres wahrgenommen worden sein müßten?

Vieles deutet darauf hin, daß kein kausaler Zusammenhang besteht zwischen dem, was einen Schüler in der Realität des Physikunterrichts nach Meinung des Lehrers umgibt und der Bedeutung, die der Schüler dem zuordnet. Da der Prozeß der Bedeutungszuweisung eng mit Wahrnehmung verbunden ist, soll zunächst der funktionelle Zusammenhang zwischen diesen beiden Elementen beschrieben werden.

Ein Wahrnehmungsraum enthält alles, was vom Individuum in einer bestimmten Situation wahrgenommen wird.

Dieser Satz erscheint nur dann trivial, wenn man davon ausgeht, daß Wahrgenommenes und Realität übereinstimmen oder eindeutig aufeinander abgebildet werden.

Nach MATURANA ist Wahrnehmung die "Selbstbeschreibung" des Gehirns (Maturana, 1985, 36). Bedeutungszuweisung geschieht in einem komplexen Prozeß, einerseits des Vergleichens mit Erfahrung und andererseits des Rückkoppelns mit von diesem Vorgang und den dabei entstehenden Gefühlen und Erwartungen gesteuerter Handlung und im Zusammenhang damit einer neuen Wahrnehmung. Wahrnehmung geschieht dabei um so sicherer und schneller, je weniger Widerspruch im Regelkreis vorhanden ist, d.h. durch je mehr Erfahrung die kognitive Konstruktion gebildet wurde. Die Vorgänge im Gehirn bei der Bedeutungszuweisung lassen sich neurophysiologisch folgendermaßen beschreiben:

Ankommende Signale (Lichtquanten, Luftdruckschwankungen, Temperaturdifferenzen u.s.w) werden von den sensorischen Oberflächen in vom Gehirn interpretierbare elektrische Signale übersetzt:

> "Nur über sie (die Sinnesorgane, der Verf.) hat das Gehirn Kontakt mit der Außenwelt. (...) Wie alle Übersetzungsprozesse beinhaltet auch dieser Übersetzungsprozeß das Verschwinden des Originals. Sobald in den Rezeptoren die Einwirkung von Lichtquanten, Schalldruckwellen und Geruchsmolekülen in elektrische Potentiale verwandelt wurde, damit das Gehirn diese Signale verstehen kann, haben sie alle ihre physikalisch - chemischen Eigenheiten verloren. (...) Es ist den Nervenpotentialen als solchen absolut nicht mehr anzusehen, welchen Umweltereignissen sie entsprachen, sie sind nicht voneinander verschieden, gleichgültig, ob sie vom Auge, vom Ohr oder von den Muskeln kommen."
> (Roth, 1985, 235)

Durch die so beschriebene Signalverarbeitung, durch die Änderung des Charakters der Signale, wird die nachfolgende Bedeutungszuweisung erst möglich. Qualitativ unterscheidbare Signale werden umgewandelt in ihrem Wesen nach ununterscheidbare, deren Differenzierung im Gehirn dadurch gelingt, daß ihnen unterschiedliche Orte der Weiterverarbeitung zugewiesen sind, um so für andere in der Situation entstandene funktionale Bereiche als Sehen, Hören usw. interpretierbar zu sein. Dadurch erst werden qualitativ unterschiedliche Eingangssignale vergleichbar. Das Gehirn ist nun in der Lage, Beziehungen zwischen allen Sinnesreizungen herzustellen. Bedeutungszuweisung geschieht also auf der Grundlage der Topologie des Gehirns und der Strukturbildung im Verlauf des Zuweisungsprozesses:

> "Das Gehirn geht bei der Interpretation seiner eigenen Zustände nach der topologischen Maxime vor: wenn Erregung in den und den Regionen stattfindet, dann ist das 'Sehen', ..."
> (Roth, 1985, 235)

Die so entstehenden globalen Erregungsmuster werden auf der Grundlage der früheren internen Erfahrung und der genetischen und epigenetischen Ordnungsprinzipien gedeutet.

Die beschriebene Abkopplung neuronaler Prozesse von der Realität läßt eine weitreichende Schlußfolgerung zu. Weil dem Gehirn nur immanente neuronale Erregungsmuster zur Interpretation zur Verfügung stehen, kann es nach ROTH nicht *repräsentieren* oder *rekonstruieren*, es kann nur *konstruieren*.

> "Abbildungen existieren nicht zwischen Welt und Gehirn."
> (G. Roth, 1985, 237)

Der (individuelle) Wahrnehmungsraum entsteht also dadurch, daß eigentlich ununterscheidbare elektrische Potentiale in einer Topologie durch räumlich-zeitliche Zuordnung eine Bedeutungszuweisung erhalten.

Diese Vorstellung von der Be- und Verarbeitung außenweltlicher Reize hat folgende Konsequenz für die Konstruktion von Denkprozessen:

Im Individuum entsteht eine kognitive Welt, die über Handlung und Sinnesorganreizung mit der realen Welt verbunden ist und auf diesem Weg Bestätigungen der Anwendbarkeit der eigenen kognitiven Struktur erhält. Anwendbarkeit bedeutet: Entsprechung zu selbstgemachten internen Kriterien und Strukturen und Bewährung bei der Organisierung von Handlung in der Realität. Bewährung in der Realität wird wiederum an internen Kriterien, nach erfolgter neuer Wahrnehmung gemessen. Beides ist vorstellbar: eine individuelle Konstruktion der Wirklichkeit, die nach fachwissenschaftlichen Erkenntnissen als falsch zu bezeichnen wäre und dennoch für das Individuum zu befriedigenden Handlungen führt, wie auch eine fachwissenschaftlichen Kriterien genügende Konstruktion der Wirklichkeit, die zu Handlungen führt, die für das Individuum unbefriedigend verlaufen.

Ein anderer Aspekt wird hier deutlich. Handlungsbereichen, die von anderen, von außen beobachtet, als thematisch gleich angesehen werden, wird vom handelnden Individuum, das in der Regel nach anderen Kriterien interpretiert, unter Umständen eine andere Bedeutung zugewiesen. Das Realitätselement Strom z.B. erfordert, je nach gesellschaftlicher Situation, unterschiedliche Handlungen zur Bewältigung von Problemen. Entsprechend werden unterschiedliche Bereiche der individuellen kognitiven Struktur aktiviert. Es gibt also nicht die Konstruktion des kognitiven Elements Strom, sondern, je nach Notwendigkeit in gesellschaftlichem Kontext zu handeln, je eine Konstruktion mit unterschiedlichen kognitiven Teilstrukturen.

Als Arbeitshypothese ist festzuhalten, daß die kognitive Welt keine Rekonstruktion der realen Welt ist, sondern als eigenständige Konstruktion existiert und, wie bereits beschrieben, mit Ordnungsprinzipien arbeitet, die, in jedem Individuum, in der Wechselwirkung zwischen Eigengesetzlichkeit und Reizung in sensiblen Phasen eines individuellen Reifungsprozesses neu entstehen müssen. Diese kognitive Welt wird in einem durch Handlung vermittelten Rückkopplungsprozeß immer wieder auf ihre Anwendbarkeit in der Realität überprüft. Wird das Individuum nun mit ihm unbekannten, z.B. von einem Lehrer strukturierten, Elementen der Realität konfrontiert, ist davon auszugehen, daß ein Abstand besteht zwischen der kognitiven Welt des Lernenden einerseits und der Realität andererseits (für den Schüler ist auch Realität, was der kognitiven Welt des Lehrers als Lernumgebung entspringt). Bedenkt man also, daß das, was als zu Lernendes dargeboten wird, selbst von der kognitiven Welt eines anderen Individuums strukturiert ist und, daß am Anfang eines intendierten Lernprozesses davon nur selten ein vollständiger Überblick gegeben werden kann, dann wird deutlich, vor welchen Schwierigkeiten der Schüler im Physikunterricht steht:

Es wird von ihm erwartet, daß er seine Handlungen nach Strukturen (1) organisiert, die er weder besitzt noch einfach durch Wahrnehmung übernehmen kann. Dies sind die Strukturen, die der Lehrer im Laufe seines Lebens gebildet hat, um Situationen in Bereichen physikalischer Erfahrung subjektiv befriedigend zu organisieren. Sie enthalten konsensuelle Bereiche, die innerhalb der Physikergemeinde kommuniziert und dem Schüler über die Interaktion des Lehrers vermittelt werden sollen. Alle Handlungen des Schülers werden zusätzlich auf dem Hintergrund dieser Strukturen (des Lehrers) vom Lehrer als Beobachter interpretiert. Seine individuelle kognitive Welt muß der Schüler aber selbst auf der Grundlage der Strukturen konstruieren, die während seines Lebens entstanden sind. Die Bildung neuer Strukturen, also die situationsbezogene Ordnung der Wahrnehmung und die strukturellen Konsequenzen bezüglich der individuellen Handlung, ist dabei zwangsläufig konservativ im Hinblick auf bereits vorhandene Strukturen. Die Handlung des Schülers ist immer so gerichtet, daß seine Identität (2) erhalten bleibt, neue kognitive Strukturen also nur dann entwickelt werden, wenn sie der Logik seiner bereits vorhandenen kognitiven Strukturen, im Rahmen einer noch ge-

(1) Der in diesem Abschnitt benutzte Begriff "Struktur" ist noch sehr unspezifisch. Er wird im folgenden noch genauer geklärt werden müssen. "Struktur" bezieht sich bis dahin immer auf eine individuelle kognitive Struktur.

(2)
"'Identität' nennen wir die symbolische Struktur, die es einem Persönlichkeitssystem erlaubt, im Wechsel der biographischen Zustände und über verschiedene Positionen im sozialen Raum hinweg Kontinuität und Konsistenz zu sichern. Ihre Identität behauptet eine Person gleichzeitig für sich und andere; "
(Döbert et al., 1977, 9)

nauer zu bestimmenden notwendigen Diskrepanz nicht widersprechen (3). Wenn man von kognitiven Strukturen spricht, sollte man folglich immer berücksichtigen, daß diese Strukturen, auch wenn sie in der Situation neu aktiviert werden, die kognitive Welt also immer neu konstruieren, vor dieser Situation im Individuum bereits angelegt sein müssen. Sie sind einerseits konservatives Instrument, um den Wahrnehmungsraum zu ordnen, und andererseits progressiver Träger eines Handlungspotentials, da Ordnen nur sinnvoll im Rückkopplungsprozeß wird. Der Rückkopplungsprozeß wiederum ist Ursache dafür, daß das Gesamtsystem offen für Veränderungen ist, die kognitive Struktur also nicht nur bis zur fraglichen Situation bereits vorhanden sein muß, sondern auch ständig neu entsteht und daß damit die strukturelle Grundlage für Wahrnehmung und Handlung in zukünftigen Situationen erweitert werden kann.

Die Anerkennung dieser Prinzipien hat weitreichende Konsequenzen für die pädagogische Praxis. Als eine Grundlage des Unterricht darf hiernach nicht ein Prozeß des Übermittelns von Informationen verstanden werden oder, wie bei AUSUBEL, die Annahme, daß Begriffe als psychologisch in dem Sinne als real bezeichnet werden,

> "daß sie (1.) erworben, wahrgenommen, verstanden und manipuliert werden können, und (2.) sowohl denotativ als auch in ihren syntaktischen Funktionen in einer bestimmten Kultur und von Kultur zu Kultur ungefähr in gleicher Weise wahrgenommen und verstanden werden."
> (Ausubel, 1980, 120)

Der Blick muß vielmehr bei der Organisation der Lernumgebung und bei der Beobachtung von Schülerinteraktion durch den Lehrer darauf gerichtet sein, daß etwas eigenständig Neues entsteht, dessen Beurteilung wieder ein Akt der Bedeutungszuweisung (durch den Lehrer) auf der Basis anderer (lehrereigener) kognitiver Strukturen ist. Wahrnehmen und Verstehen selbst ist ein Prozeß, der u.a. von sozialer Interaktion (Kommunikation und Verfolgung konsensueller Handlungsziele) abhängt.

> "Übereinstimmung der Beurteilung (...) (charakteristischer Eigentümlichkeiten einer Kultur)"
> (ebenda, 120)

sind nicht "Ergebnis charakteristischer Denkformen in einer Kultur" (ebenda,121), sondern Ergebnis eines individuellen Bedeutungszuweisungsprozesses im Verlaufe sozialer Interaktion.

---

(3) Identitätswahrung wird hier als Prinzip verstanden. Natürlich ändert sich die Identität im Laufe des Lebens eines Menschen. Der Zweck einer Handlung ist aber auf ihre Erhaltung gerichtet und nicht auf ihre Änderung.

2.4 Der Zusammenhang zwischen kognitiver Welt und Realität.

Nachdem beschrieben wurde, daß es sich bei jeder Wahrnehmung um eine Bedeutungszuweisung handelt, die das individuelle Gehirn aufgrund eigener, selbst gebildeter Kriterien vornimmt, ist der Zusammenhang zwischen kognitiver Welt und Realität zu erkennen:

> "Wir können Wahrnehmung nicht selbst wahrnehmen, wir sind Wahrnehmungen. Wahrnehmung ist die Selbstbeschreibung des Gehirns."
> (Roth, 1985, 242)

Grundlage dieser Aussagen ist eine konstruktivistische Sicht mentaler Prozesse. Um ihre Tragweite deutlich werden zu lassen, möchte ich einige Zitate anführen. Man kann erkennen, daß von vielen Autoren mit unterschiedlicher paradigmatischer Grundlage ein Rekonstruktionscharakter mentaler Prozesse unterstellt wird:

> "So sehen wir eine neue Funktion der Wahrnehmung: Nicht mehr bloß dem erfolgreichen Vollzug der Handlung und dem günstigen Ablauf der in ihr eingeschlossenen Prozesse zu dienen, sondern ein 'Bild' der Welt zu liefern.
> (Aebli, 1980, 168).
> Die Strukturen des menschlichen Denkens, also die Geflechte von Relationen, sind auf ein modales Substrat angewiesen. Sie brauchen ein 'anschauliches' Material. Die Gegenstände, welche durch Handlungen und Optionen effektiv oder gedanklich in Beziehung gesetzt werden, müssen modal repräsentiert sein."
> (Aebli, 1981, 319)

> "Jedes motivierte, informationsaufnehmende System ist auf Grund der Notwendigkeit, sein Verhalten den objektiven Gegegebenheiten einer Situation anzupassen, gezwungen, die aus der Umgebung zugängliche Information nach ihrem Gehalt über die realen Eigenschaften dieser Umgebung auszuwerten. (...) Diese Informationsauswertung ist um so besser, je genauer ihre Resultate mit den objektiven Gegebenheiten übereinstimmt."
> (Klix, 1976, 41)

> "Die Information im Gedächtnis besteht aus all unserem Wissen über die Welt. Der Prozeß des Verstehens umfaßt eine Vielzahl von kognitiven Prozessen, welche alle zusammenwirken, um neue Informationen in die bereits existierenden geistigen Strukturen zu integrieren."
> (Norman/Rumelhart, 1978, 47)

Diese Reihe von Zitaten ließe sich fortsetzen. Bezeichnend ist, daß sich die rekonstruktive Sicht der menschlichen Begriffsbildung grundsätzlich durch unterschiedliche Theorien verfolgen läßt. Die hier zitierten Autoren sind dem Konstruktivismus, dem Materialismus und einer Mischung aus Behaviourismus und Konstruktivismus verpflichtet.

Von allen genannten Autoren wird vertreten, daß Rekonstruktionen es dem Individuum ermöglichen sollen, in neuen Situationen, mit den in unterschiedlicher Form im Gedächtnis gespeicherten Informationen, neue Verhaltensdispositionen zu entwerfen. Be-

deutung wird dabei, als Substrat, direkt aus der Realität wahrgenommen oder im Prozeß der Verarbeitung des Wahrgenommenen und einer von außen kommenden Erfahrung gebildet. Wahrnehmung wird nicht selbst als individueller Bedeutungszuweisungsprozeß verstanden.

STADLER und KRUSE charakterisieren die unterschiedlichen Wahrnehmungstheorien folgendermaßen:

Sie unterscheiden zwischen der "Welt der Erscheinungen", der Realität (Reality) und der "transzendentalen Realität", die sie "Wirklichkeit" (Actuality) nennen. Realität ist die unabhängig vom Menschen existierende physikalische Welt, Wirklichkeit umfaßt alle subjektiven Erscheinungen der Realität (Wahrnehmungsraum, s.S. 10).

> "Die *ökologische Wahrnehmungstheorie* (...) besagt, daß jeder seine Umwelt *direkt wahrnimmt*:
>
> $$W = R$$
>
> (Stadler und Kruse 1988, 3)

> "Die *repräsentationalen Wahrnehmungstheorien* sehen demgegenüber die Wirklichkeit nur als eine Funktion der Realität:
>
> $$W = f(R)$$
>
> Für solche kritisch-realistischen Ansätze ist Realität lediglich eine Ursache für das im Organismus erzeugte Abbild (...)."
> (ebenda, 3)

> "(...) die *Widerspiegelungstheorie* des *dialektischen und historischen Materialismus* (begreift) die Abweichungen im Abbild von der Realität als Ausdruck des Erkenntnisprozesses selbst (...):
>
> $$W = f(R, I, K)$$
>
> Die Wirklichkeit ist damit eine Funktion der Realität, der Eigenschaften des erkennenden Subjekts (I) und von dessen kulturhistorischem Kontext (K). Da das erkennende Subjekt Teil einer gesellschaftlichen Realität ist, spiegelt sich in der subjektiven Wirklichkeit annäherungsweise die objektive Realität wider."
> (ebenda, 4)

Läßt man sich auf Selbstreferentialität (4) als Organisationsprinzip ein, ergibt sich ein anderes Modell:

Mental entstehen keine Rekonstruktionen, sondern Konstrukte der räumlich und zeitlich geordneten Realität, in der das kognitive Ich selbst Konstrukt ist.

---

(4) Selbstreferentialität bezieht sich im Folgenden, wenn nichts anderes angemerkt ist, auf Nervensysteme einschließlich der zugehörigen sensorischen und effektorischen Oberflächen. Ein System ist selbstreferentiell, wenn es die Komponenten selbst produziert, die zur Fortsetzung seiner Existenz notwendig sind.

> "Wirklichkeit ist demnach eine Funktion eben dieser Wirklichkeit selbst (kognitive Selbstreferenz), des spezifischen Erfahrungshintergrundes des Individuums (I) und des energetischen Kontextes der Reize (S):
>
> $$W = f(W, I, S)"$$
>
> (ebenda, 5)

Die Reize, die von den sensorischen Oberflächen überhaupt als Reize wahrgenommen werden, enthalten keine Information in dem Sinne, daß ein bestimmter Reiz notwendig in bestimmter Weise interpretiert wird und ein bestimmtes Verhalten erzeugt. Dies ist nur bei Reflexen der Fall, die man insofern als "offene" Systeme ansehen kann, als das gezeigte Verhalten (Reaktion) der Erwartung fast immer entspricht. Zwischen der Realität und einem selbstreferentiellen System wird keine Information übertragen. Für das menschliche Gehirn als Zentrale für Verhalten ist die Bedeutungszuweisung nach eigenen Kriterien notwendige Operationsbasis. Weder die beobachete Geschwindigkeit von Bedeutungszuweisung (mitunter Bruchteile von Sekunden), noch die Komplexität des resultierenden Verhaltens läßt sich durch Informationsübernahme und folgender Berechnung erklären. Darüber hinaus sind die Sinnesorgane aufgrund ihrer Konstruktion nicht in der Lage, für eine Verhaltensberechnung brauchbare Informationen aufzunehmen, zu kodieren und an das Gehirn weiterzuleiten.

> "Thus, sense organs do not exist in order to 'reflect' or 'perceive' the environment in all details, but to provide the brain with a 'quick and dirty' survey about what goes on 'outside'. They are an extremely narrow contact point between the universe of environment and the universe of the brain. They are instruments for the brain to explore the environment, and as such instruments they are no 'information input' to the brain."
> (Roth, 1988, 21)

Es wird also nicht jede neue Erfahrung mit einer Reihe gespeicherter Repräsentationen der Realität abgeglichen, bevor eine neue Entscheidung gefällt wird, sondern die Entscheidung ist Ausdruck eines immer wieder neu modifizierten Systems. Bei der Beschreibung und Analyse der Lernprozesse der von mir beobachteten Schüler gehe ich von dieser, dem Konstruktivismus verpflichteten Sichtweise aus. Die grundlegende Idee dieses Paradigmas kann man schon bei HERBART finden. Denken und Wahrnehmen sind bei ihm ein konstruktiver Prozeß des Gehirns. Bereits vorhandene Erfahrung ist entscheidend für die Bildung neuer Vorstellungen:

> "Fortwährend ist hier die Apperception thätig gewesen; immer hat das Neue gepasst zum Früheren, immer war es darauf eingerichtet, die aufgeregten Fragen (Erkenntnisinteresse d.V.) zu beantworten, um uns in neue Fragen zu verwickeln; nie war das Eine gleichgültig für das Andere. (...) Die Apperception richtet sich nach den älteren, den früher erworbenen und seit längerer Zeit gebildeten Vorstellungsmassen in ihrem Verhältnis zu den späteren, minder starken, minder verschmolzenen, welche eben darum zu jenen in einem Verhältnis der Abhängigkeit stehen."
> (Herbart, 1968, 203/204)

Realität ist also nichts anderes als die Randbedingung des (menschlichen) Seins. Sie wirkt insofern auf uns Menschen, als wir in ihr leben und selbst Realität sind. Grundstrukturen unseres Handelns und Denkens sind so festgelegt. Realität ist aber nicht zugänglich in dem Sinne, daß wir ihr Informationen oder Bedeutung entnehmen können, Bilder dieser Realität in unserem Gehirn entstehen oder wir die Realität (gefiltert, abgebildet) erkennen können. Zugänglich sind für uns nur unsere eigenen Konstrukte von der Realität, die selbst wieder Gegenstand unseres Denkens und neuer Konstrukte sind.

Es sollen Veränderungen kognitiver Strukturen untersucht werden. Diese Veränderungen sind demnach nur über Beobachterkonstruktionen von Verhalten zugänglich (eine Konstruktion der Konstruktion). Die Auswirkung kognitiver Systeme auf Verhalten und der Rückschluß vom Verhalten auf das jeweilige kognitive System läßt sich ohne Klärung des Verhältnisses zwischen diesen Systemen und der Realität nicht beschreiben. Menschen sind in Realität eingebunden und selbst Realität, und ihr kognitives System entwickelt sich in Korrespondenz zu ihr. Unbeschadet der individuellen Entwicklung kognitiver Systeme ist diese Entwicklung daran gebunden, daß der Mensch als reale Gestalt und in einer natürlichen und sozialen Realität existiert. Ein weiterer Umstand ist zu beachten:

Auch der Beobachter ist Bestandteil dieser realen Umwelt des zu beschreibenden Menschen (Schülers) und ist außerdem selbst, während der Beobachtung, Bildner kognitiver Strukturen, auf die alles Gesagte uneingeschränkt angewandt werden muß. Ich möchte mich zunächst mit dem zu beobachtenden Schüler und seinem Verhältnis zur Realität befassen.

Wird Wahrnehmung als Selbstbetrachtung angeregter neuronaler Zustände auf der Grundlage räumlicher und zeitlicher Ordnung beschrieben, und erkennt man als Ordnungsprinzip des Gehirns nicht Hierarchie, sondern Zirkularität (5) an, ergibt sich folgende Schlußfolgerung für die kognitive Organisierung von Verhalten:

Durch Interaktionen mit der Umwelt wird ein bestimmter interner Zustand hervorgerufen. Wegen der Erwartung (6), daß in ähnlichen Situationen ähnliche Interaktionen für

---

(5) Die Reproduktion lebender Systeme ist in geschlossenen kausalen Kreisprozessen organisiert, "der evolutive Veränderungen der Art erlaubt, in der die Zirkularität aufrechterhalten wird, aber keine evolutiven Veränderungen zuläßt, die die Zerstörung dieser Zirkularität zur Folge hätten."
(Maturana, 1985, 35)

(6) Ich benutze statt "Voraussagen" bei Maturana "Erwartungen", da dieser Prozesse losgelöst sind von der Kommunikation, also (nach Maturana) nichts mit Sprache zu tun haben.

den Organismus befriedigend verlaufen, wird nach einem Muster (7) zum Objekt- (oder Situations-) Erkennen gesucht, das sich früher, in als ähnlich erkannten Situationen, für die Handlungsorganisation bewährt hat. Es wird in der entsprechenden Situation jeweils neu aktiviert. Vor der Aktivierung ist es passiv vorhanden und mehr oder weniger leicht mit anderen Mustern zu verknüpfen. Die Verknüpfbarkeit ist eine erfahrungsbedingte Eigenschaft, die sich elektro-chemisch manifestiert.

Führt dadurch strukturiertes Handeln nicht zum erwarteten Rückkopplungsergebnis, entsteht Bedarf nach neuer Auswahl von Mustern. Muster dienen also dem Organismus dazu, über Klassen von Interaktionen Erwartungen zu treffen. Zu jedem Organismus gehört eine Menge von Klassen von Interaktionen, zu denen ein Individuum Erwartungen entwickeln kann (8). Diese Menge beschreibt alle Interaktionen, die vom Individuum potentiell eingegangen werden können.

Phylo- und ontogenetisch festgelegt ist, welche sensorischen und effektorischen Oberflächen auf welche Art miteinander verbunden werden können, und der allgemeine Bauplan, nach dem Nervensysteme organisiert sind. Diesen beiden Merkmalen sind die konkreten individuellen Vernetzungen untergeordnet. Weder einzelne Nervenzellen noch größere Zusammenschlüsse sind allerdings funktionale Einheiten an sich. Funktionale Einheiten werden vielmehr durch Verhalten jeweils neu selbst organisiert. Die Entscheidungskriterien hierfür werden in der individuellen Geschichte gebildet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

1. Die selbstreferentielle Aktivität des Nervensystems ist Voraussetzung, um in einer sich ändernden Umwelt Identität wahrendes Verhalten zu erzeugen (das dem Prinzip der Erhaltung der basalen Zirkularität des Organismus nicht widerspricht).

---

(7) Mit "Muster" ist nach MATURANA eine kognitive Teilstruktur gemeint, die situationsbezogen aktiviert werden kann.

(8) Zwischen den von Maturana benutzten Mustern und den von Rumelhart konstruierten Schemata besteht ein grundlegender Unterschied. Rumelharts Schemata sind Speicherelemente, die in der Lage sind, von außen eingehende Informationen zu verarbeiten und mit einem immanenten Basismodell von der Wirklichkeit zu vergleichen:

> "They (die Schemata, d.V.) are the fundamental elements upon which all information processing depends. Schemata are employed in the process of interpreting sensory data (...), in retrieving information from memory, in organizing actions, in determining goals and subgoals, in allocating recources, and, generally, in guiding the flow of processing in the system."
> (Rumelhart, 1980, 34)

Bei Maturana gibt es keinen Informationsfluß von der Realität zum kognitiven System. Die Muster werden situationsbezogen aktiviert und erzeugen dadurch, daß das Gehirn diese Muster, also die eigenen Zustände, selbst interpretiert, immer wieder neu eine kognitive Welt, die auch das Ich als Konstrukt enthält.

Die aufgrund dieser Aktivität erzeugten Muster zur Verhaltenssteuerung werden im Laufe ihrer Entwicklung über mehrere Situationen immer komplexer, um immer komplexere Klassen von Situationen organisieren zu können.

2. Die situationsbedingte Aktivierung neuronaler Prozesse ist Voraussetzung dafür, daß ein Individuum angerechtes und der jeweiligen soziokulturellen Umgebung angemessenes Verhalten entwickeln kann und sich somit als interaktionsfähig erweist.

   Ausgangspunkt für die Aussage über kognitive Systeme ist deshalb immer die jeweilige Situation.

2.5 Die Abgeschlossenheit und die Veränderbarkeit kognitiver Systeme

Die Beantwortung der Frage, ob ein kognitives System als abgeschlossen betrachtet werden kann oder nicht, ist unmittelbares Interesse unterrichtlicher Praxis und soll deshalb hier besonders behandelt werden, obwohl es sich direkt aus dem Postulat der Selbstreferentialität ergibt.

Geht man in der Schule davon aus, daß sich Unterricht an offene Systeme wendet, muß man folgern, daß Bedeutung vom Lehrer zum Schüler übertragen werden kann, daß Wissensinhalte implantierbar sind. Auch die Hypothese von der Beeinflussung der Implantate durch Schülervorverständnisse, Präkonzepte usw. auf dem Weg der Auswahl und Anpassung ändert daran nichts. Der Glaube an die Implantierbarkeit (die *Trichtermethode* ist in den Schulen weit verbreitetes didaktisches Instrument) führt dazu, daß immer dann, wenn ein Lernprozeß aus Sicht des Lehrers nicht zum gewünschten Ziel führt, die Ursachenanalyse, wenn sie überhaupt stattfindet, in erster Linie Auswirkung auf die neue Aufbereitung der Sachstruktur nach allgemeinen Gesichtspunkten wie sachliche Konsistenz, Übersichtlichkeit, Genauigkeit usw. betrifft. Diese weit verbreitete Praxis führt in letzter Konsequenz dazu, daß auch auf didaktischen Tagungen schwerpunktmäßig neue Versuchsvarianten vorgeführt, andere Bedingungen des Unterrichts aber nicht tangiert werden. 55% der Vorträge der GDCP-Tagung 1987 hatten, am Titel erkennbar, einen solchen Inhalt. Mit Schülern und den Bedingungen von Lernen hatten nur rund 16% der Vorträge in weitestem Sinne etwas zu tun.

Das Postulat von der Abgeschlossenheit kognitiver Systeme führt demgegenüber zu anderen Schlußfolgerungen:

Neuronalen Prozessen selbst kann kein Sinn zugesprochen werden. Sie sind lediglich durch externe oder interne Interaktion im Nervensystem hervorgerufene relative Akti-

vitäten. Dies folgt allein daraus, daß diejenigen externen auditiven, visuellen usw. Reize, die neuronale Prozesse auslösen, vom jeweils beteiligten Element der sensorischen Oberfläche nicht interpretiert werden können. Die auslösenden Reize besitzen für die sensorische Oberfläche weder eine Geschichte, noch bieten sie die Möglichkeit räumlich oder zeitlich eingeordnet zu werden. Die räumliche und zeitlich Ordnung der externen auslösenden Reize, letzlich also Wahrnehmung, sind Aktivitäten des Gehirn relativ zu bereits gebildeten kognitiven Konstruktionen. Einige dieser relativen Aktivitäten werden über Effektoroberflächen außerhalb des Organismus wirksam. Sie erzeugen Verhalten. Erst dieses Verhalten ist der Interpretation ausgesetzt und damit, historisch veränderlich, sinnbehaftet. Die rekursive Betrachtung von Strukturveränderungen ist deshalb nur dann sinnvoll, wenn die fragliche Struktur in ihrer Beziehung zur Realität gesehen wird. Diese Beziehung zur Realität kann es nur in der jeweiligen Situation geben, in der das Individuum handelt. In jeder Interaktion, sei die Situation noch so vertraut, ändert sich die Musterung, die vom Gehirn als funktional erzeugt wird, da durch jedes Handeln eine für das Individuum neue Realität geschaffen wird. Musterung ist damit an Situationen gebunden, und jedes situationsgebundene Muster muß prinzipiell in der Lage sein, die Handlung des Individuums situationsadäquat zu organisieren. Kann es das nicht, kommt es zu Veränderungen. Die Notwendigkeit zu Veränderungen steht im Widerstreit mit der Tendenz und dem Vermögen, Muster möglichst so neu zu aktivieren, daß die neue Struktur bereits schon einmal erfolgter Musterung (Erfahrung) entspricht (Wahrung der Identität, s.S. 13).

Wenn das Individuum seine Identität wahren und gleichzeitig situationsadäquates Handeln in für das Individuum neuen Situationen organisieren muß, kann es Veränderungen der kognitiven Struktur in folgender Hinsicht geben:

1. Um situationsadäquates Handeln zu sichern, werden (unbewußt) andere, latent vorhandene Muster zur Handlungssteuerung aktiviert.

2. Es kann kein Muster aktiviert werden, das adäquates Handeln sicherstellen kann.

a) Die Handlung wird abgebrochen.

b) Es wird ein anderes Muster aktiviert, um die Handlung adäquat zu organisieren.

c) Die Wahrnehmung wird so gedeutet, daß sie der gerade aktivierten kognitiven Konstruktion (kognitive Welt) entspricht.

d) Die Sensoren erhalten die Aufgabe, die Umgebung nach weiteren Anhaltspunkten für eine Konstruktion abzutasten (Tunnelblick).

Diese Kriterien lassen sich auch auf den komplexen Prozeß der Wahrnehmung sozialer Situationen anwenden. Der Kulturschock z.B. ist Ausdruck totaler Orientierungslosigkeit in einer sozialen Situation. Alle eingesetzten Muster (und damit die gebildeten Erwartungen) führen durch die Rückkopplung der Interaktion zu größtmöglicher Diskrepanz. Wenn die Handlung aus Gründen der Systemerhaltung nicht abgebrochen werden kann, muß sie dennoch mit den zur Verfügung stehenden Mustern organisiert werden. Die Diskrepanz kann in der Regel nicht beseitigt werden, da der Rückkopplung (vom Charakter falsch/richtig) keine der Situation adäquate Bedeutung zugewiesen werden kann. Ähnliche Situationen, die ich als *partiellen Kulturschock* bezeichnen möchte, finden wir häufig in der Schule. Ist ein Schüler an einer sachbezogenen Auseinandersetzung in der angebotenen Lernumgebung interessiert, bleibt ihm in manchen Situationen keine andere Wahl, als seine Handlung mittels nicht situationsadäquater Muster zu organisieren. Es kommt zur Anwendung von Mustern, die sich in anderen Situationen, z.B. im Alltag, bewährt haben und zu einer Rückkopplung vom Charakter richtig/falsch, die keine adäquate Veränderung des Handlung organisierenden Musters ermöglicht.

Abgeschlossenheit und Veränderbarkeit bedingen sich also gegenseitig und sind, durch Rückkopplung über Handlung und Wahrnehmung, miteinander verbunden.

2.7 Zusammenfassung

Aus der Selbstreferentialität und Abgeschlossenheit menschlicher Nervensysteme läßt sich folgern:

1. Die Welt wird nicht mental repräsentiert (gespiegelt, abgebildet). Den Strukturen, die das abgeschlossene System erzeugt, kann kein Bild-, kein algorithmischer oder semantischer Charakter unterstellt werden. Das Gehirn konstruiert vielmehr, auf der Basis der eigenen Phylo- und Ontogenese, eine je eigene kognitive Welt, die zum Zeitpunkt des Handelns ausschließlich durch Effektoren und Sensoren (als Oberfläche) mit der Realität verbunden ist. Bilder, Algorithmen oder Sprache sind Ergebnis der Bedeutungszuweisung des Gehirns bezüglich der Wechselwirkung zwischen den sensorischen Oberflächen eines Individuums mit der Realität und nicht Eigenschaft der neuronalen Struktur. Selbst wenn es gelingen würde, die Wechselwirkung als mathematische Abbildung zu beschreiben, würde sich daran nichts ändern.

2. Beim Aufbau seiner kognitiven Welt bildet das Individuum Strukturen, die systemhaft organisiert sind. Das bedeutet, daß partielle Veränderungen immer weiterreichende Veränderungen als Ausgang und zur Folge haben müssen.

3. Die Abgeschlossenheit bedingt, daß sich die Systeme (ein Mensch den anderen) nicht direkt beeinflussen können. Von außen können nur Tendenzen vorgegeben werden. Die Strukturveränderung, also auch Lernen, vollzieht sich immer im System und durch das System selbst. Da ständige weitreichende Veränderungen den Verlust der Identität zur Folge hätten, sind die Strukturen tendentiell zeitlich stabil und situativ abgeschlossen.

4. Alle Beobachtungen an einem Individuum sind Ergebnis der Wechselwirkung zwischen mindestens zwei abgeschlossenen Systemen, dem des Beobachters (z.B. des Lehrers) und dem des Probanden (z.B. des Schülers).

3. Ein Modell für den Aufbau kognitiver Strukturen

Das jetzt zu entwerfende Modell muß folgende Ansprüche erfüllen können:

- Das Modell darf den bereits genannten neurophysiologischen Grundsätzen (Selbstreferentialität, gestaltpsychologische Organisationsprinzipien) nicht widersprechen.
- Das Modell muß konstruktivistisch in dem Sinne sein, daß es alle Aktivitäten des menschlichen Gehirns konstruktivistisch versteht. Die Wahrnehmung als Teil dieser Aktivitäten muß in die konstruktivistische Betrachtung einbezogen sein.
- Das Modell muß eine Beobachterkonstruktion vom Verhalten der beobachteten Schüler und eine konsistente Interpretation des Verhaltens ermöglichen.

3.1 Entstehung und Eigenschaften subjektiver Erfahrungsbereiche

Die Muster, die das Handeln des Individuums während der Interaktion mit der Realität bestimmen, sind während seines eigenen Verhaltens und in Rückkopplung damit auf genetischer und epigenetischer Grundlage entstanden. Bei Interaktionen ist ein Individuum darauf angewiesen, Objekte und Situationen wiederzuerkennen. Muster werden deshalb zum Zeitpunkt ihrer Entstehung in Klassen eingeteilt, deren Elemente ähnliche Strukturen besitzen. Wegen der prinzipiellen Strukturgleichheit verschiedener Gehirnbereiche und der funktionalen Gleichheit der Neuronen in verschiedenen Gehirnbereichen (s.S. 9) muß dieses neurophysiologisch begründete Modell nicht aufgegeben werden, wenn statt visueller Wahrnehmung die Handlungssteuerung und Wahrnehmung komplexer sozialer Situationen (wie z.B. im Unterricht) beschrieben wird. Kognitive Muster sollen also in größeren Gruppen organisiert sein, die ich nach BAUERSFELD *subjektive Erfahrungsbereiche* nenne (Bauersfeld, 1983, 28). Diese Strukturelemente sind *subjektiv*, weil jedes Individuum sie selbst bilden muß, sie sind *Erfahrung*, da sie im Rückkopplungsprozeß zwischen Bedeutungszuweisung (Wahrnehmung) und individueller Handlung entstanden sind und zu einer aktivierbaren Musterung geführt haben, und sie sind *Bereiche*, da sie aufgrund der gehirneigenen Prinzipien der Bedeutungszuweisung der Topologie des Gehirns untergeordnet sind (s.S. 11). Durch diese Zusammenfassung verschiedener Gruppen strukturell benachbarter Muster (als ähnlich eingeordnete Situationen) in subjektive Erfahrungsbereiche kann u.a. folgendes erklärt werden:

1. Der Übergang zwischen Konstruktionen verschiedener Muster innerhalb eines subjektiven Erfahrungsbereichs ist leicht möglich. Zu einmal geordneten Situationen können schnell Handlungen organisiert werden, ohne die Gesamtstruktur zu verändern.

2. Es kann beobachtet werden, daß Wahrnehmung mitunter über lange Handlungsphasen von Erwartungen geprägt wird. Da Erwartungen Elemente subjektiver Erfahrungsbereiche sind, sind sie an situationsabhängige Muster gebunden und bestimmen so die Wahrnehmung in der Situation.

3. Unter Wahrung der Identität können Muster in Rückkopplungsprozessen situationsbezogen angepaßt werden, da die Veränderung lokal begrenzt bleibt.

   Da die Wahrung der Identität ein grundlegendes Ordnungselement sozialen Verhaltens darstellt, müssen notwendige Veränderungen der Struktur lokal begrenzt werden können. Diese Begrenzung läßt sich neurophysiologisch nachweisen.

4.

> "Begriffliche Strukturen und Systeme implizieren nie eine unbeschränkte Generalität. Diese Generalität verleiht ihnen nur der sie theoretisch analysierende Betrachter, indem er ihre allgemeinen und universellen Elemente und Beziehungen heraushebt (abstrahiert). Jedes individuelle kognitive System ist seinem Wesen nach beschränkt auf die Situationen, in denen es erarbeitet wurde, und auf die Elemente und Beziehungen, die es strukturiert. Aber in einem allmählichen Generalisierungsprozeß dehnt es sich auf "Nachbarsituationen", auf "verwandte Gegenstände" und "ähnliche Aspekte" aus."
> (Seiler, 1973, 18)

Zwei Hinweise dieses Zitats sind weiterzuverfolgen und beim Entwurf eines Modells von Denk- und Lernprozessen und der Analyse zu beachten. Als erstes die Hypothese, daß sich subjektive Erfahrungsbereiche (9) durch Generalisierung erweitern. Der zweite Hinweis betrifft die von außen theoretisch postulierte Generalität. Er kann z.B. auf Vorverständnisse oder Präkonzepte bezogen werden, die als Voraussetzung der Handlung eines Schülers unterstellt werden. Z.B. "Geben und Nehmenschemata" (Maichle, 1980) oder Der "Denkrahmen (...) Realitätsdenken" (Schecker, 1985) sind von außen unterstellte, mit den Ordnungskriterien und der Theorie des Beobachters versehene Strukturierungen beobachteten Verhaltens. Sie sind dadurch noch keine Konstruktion von Schemata oder Denkrahmen, die der kognitiven Welt von Schülern unterstellt werden könnte.

(9) SEILER hat in seinem Modell die kognitive Struktur noch nicht konsequent in Untereinheiten (subjektive Erfahrungsbereiche) gegliedert.

Aus 1. bis 4. folgt: Das Gesamtsystem subjektiver Erfahrungsbereiche ist in hohem Maße konservativ (Identitätswahrung) und deshalb in der Lage, auf neue Situationen so zu reagieren, daß die Randbedingungen der eigenen sozialen Existenz nicht ständig neu bestimmt werden müssen, die Handlung aber situationsadäquat erfolgen kann (die organische, psychische und soziale Existenz nicht gefährdet wird).

Das Modell der subjektiven Erfahrungsbereiche erfüllt folgende, auf die *Organisierung von Verhalten* bezogene Forderungen :

5. Entscheidendes Kriterium für die Existenz eines bestimmten subjektiven Erfahrungsbereichs sind Klassen von Situationen, für die er in der Lage ist, Handeln für das Individuum situationsadäquat zu organisieren. Was eine Klasse von Situationen ist, ist durch das Individuum festgelegt.

6. Subjektive Erfahrungsbereiche sind erworben. Ihre Grundlage sind funktionale Einheiten, die sich im Gehirn in jeder Situation immer neu bilden. Dabei werden eingeprägte (passive, latente) Strukturen benutzt und aktiviert (s.S. 16).

7. Subjektive Erfahrungsbereiche sind kohärent.

   "(...) es muß ein einheitlicher Kontext (Situation, Thema usw.) erkennbar sein, d.h. es muß ein Zusammenhang zwischen Elementen und ihren Funktionen von relativer Abgeschlossenheit hergestellt werden können."
   (Bauersfeld, 1983, 49)

   Außerdem muß eine Zuordnung 'subjektiver Erfahrungsbereich - Situation' möglich sein.

8. Alle Elemente subjektiver Erfahrungsbereiche können verhaltensbestimmend wirksam werden. Es gibt Elemente wie Erwartungen, Wissen und Gefühle und andere, die ich als Strukturelemente bezeichne, wie die Anzahl der Verbindungen unter den Elementen, ihre Verbindbarkeit, die Stärke ihrer Verbindungen und die Rückkopplung zwischen den Elementen.

   Nach ROTH ist die Qualität dieser Elemente ein Maß für den Grad der Selbstreferentialität eines Systems:

   "An increase in selfreferentiality may be characterized by the following steps:

   (i) Number of components

   (ii) Number of connections between the components

   (iii) Presence and increase in feedback coupling between the components of the system

(iv) Variability in strength of coupling between the components (functional plasticity)

(v) Changes in the connectivity between the components (structural plasticity)

(vi) Selfconstitution (emergence) of new components"
(Roth, 1988, 4)

9. Für die Entstehung eines subjektiven Erfahrungsbereichs sind Erwartungen notwendig; sie müssen Bestandteil bereits gebildeter subjektiver Erfahrungsbereiche sein. Das Handeln in einer neuen Situation, so neu sie für das Individuum auch immer sein mag, wird deshalb immer unter Beteiligung von subjektiven Erfahrungsbereichen organisiert, die bereits vorhanden sind. Es werden dabei subjektive Erfahrungsbereiche aktiviert, die in vermeintlich ähnlichen Situationen bereits situationsadäquates Verhalten organisieren konnten.

10. Die im Unterricht vom Schüler aktivierten subjektiven Erfahrungsbereiche haben in der Regel eine komplexe Geschichte. Sie enthalten Elemente, die mit der neuen Situation korrespondieren und können deshalb reaktualisiert und im folgenden Rückkopplungsprozeß modifiziert werden.

11.

"Ausgelöst und in Gang gehalten wird dieser Lern- und Assimilationsprozeß (die Veränderung und Weiterentwicklung des Systems der subjektiven Erfahrungsbereiche, d.V.) und die sich daraus ergebende Differenzierung und Integration der kognitiven Strukturen durch eine "optimale" Diskrepanz zwischen den zu verarbeitenden Gegenständen und Situationen einerseits und den dem Individuum im Moment zur Verfügung stehenden Operationssystemen."
(Seiler, 1973, 12)

"Optimale Diskrepanz" ist die Differenz zwischen Erwartung und dem, was von der Realität in Rückkopplung nach erfolgter Handlung wahrgenommen wird und so zur Veränderung des jeweils aktiven subjektiven Erfahrungsbereichs beiträgt, so daß die folgenden Handlungen situationsadäquat organisiert werden können. Andere Möglichkeiten wären der Abbruch der Handlung oder die vollständig nichtadäquate Strukturierung der folgenden Handlung.

12. Subjektive Erfahrungsbereiche sind selektiv. Sie begrenzen das, was wahrgenommen werden kann, entsprechend der in ihnen enthaltenen Erwartungen auf situationsabhängige Teilmengen der kognitiven Welt. Es kann also nur die Bedeutung zugeordnet werden, die innerhalb des subjektiven Erfahrungsbereichs aktiviert werden kann. Dies kann auch dadurch geschehen, daß neue Verbindungen

zwischen Elementen eines oder verschiedener subjektiver Erfahrungsbereiche geknüpft werden, also eine Veränderung der Struktur erfolgt.

Die *Konstruktion* der subjektiven Erfahrungsbereiche, die einem Schüler unterstellt werden, unterliegt folgenden Randbedingungen:

13. Die Konstruktion subjektiver Erfahrungsbereiche durch einen Beobachter ist unabhängig vom beobachteten Individuum. Das Handeln eines Individuums ist lediglich orientierend und bewirkt beim Denken des Beobachters Tendenzen, die die Bildung subjektiver Erfahrungsbereiche beim Beobachter beeinflussen.

14. Die Konstruktion eines subjektiven Erfahrungsbereichs durch einen Beobachter ist dann möglich, wenn er den Schüler im Prozeß der Entstehung eines subjektiven Erfahrungsbereichs beobachtet.

15. Vollständigkeit der Konstruktion kann nicht für bereits bestehende (lange Zeit vor der Beobachtungszeit entstandene) subjektive Erfahrungsbereiche gefordert werden. Die Konstruktionen zu solchen subjektiven Erfahrungsbereichen können höchstens folgende Merkmale beschreiben:

- Situative Konsistenz (s.S. 21),
- zeitliche Konstanz von zum subjektiven Erfahrungsbereich gehörenden Erwartungen,
- Abgrenzung gegen andere subjektive Erfahrungsbereiche,
- Vernetzbarkeit
- und Vernetzungen mit anderen subjektiven Erfahrungsbereichen.

3.2 Die Funktion der Erwartung bei der Organisierung von Wahrnehmung und Verhalten durch subjektive Erfahrungsbereiche.

Erwartungen spielen einerseits im Modell der subjektiven Erfahrungsbereiche eine besondere Rolle bei der Organisierung von Handlung und Wahrnehmung, andererseits stehen sie als Verhaltenskomponente der Interpretation zur Verfügung, stellen also eine Verbindung zwischen Verhalten und kognitiver Struktur dar. Deshalb halte ich sie für wichtige Verbindungselemente zwischen den Konstrukten des Lehrers und den intendierten Veränderungen beim Schüler.

Ich unterscheide zwei Arten von Erwartung:

Einmal sind Erwartungen geprägt von der soziokulturellen Stellung des Individuums in der jeweiligen Gesellschaft. Diese Erwartungen, die etwa als Grundtendenz gewertet werden können, sind nicht unabhängig von konkreten Situationen, sie existieren nicht an sich, sind aber Bestandteil vieler Muster, die in unterschiedlichen Situationen entstanden sein können. Sie gehören als Ordnungsprinzip vielen subjektiven Erfahrungsbereichen an, tragen aber nicht unbedingt direkt zur Organisierung von Handlung und Wahrnehmung bei. Die Tendenz zur kausalen Verknüpfung aufeinanderfolgender Ereignisse ist eine solche ordnende Erwartung oder die Tendenz, den selben Dingen den selben Zweck zuzuordnen.

Eine andere Komponente, die zur Bildung von Erwartungen beiträgt, ist diejenige, die den Handlungsbezug herstellt. Es gibt Erwartungen, die in ähnlichen Situationen entstanden sind und nur in solchen ähnlichen Situationen zur Organisierung von Handlung und Wahrnehmung führen. Verkehrssituationen z.B. sind ähnlich. Gleiche Erwartungen an die beteiligten Elemente führen immer wieder zu Handlungen, die für den Einzelnen situationsadäquat sind. Die Diskrepanz zwischen Erwartungen und den Rückkopplungen von Handlungen in einer Interaktion ist ein Maß für die notwendige Veränderung der kognitiven Struktur. Dabei verhindert zu geringe Diskrepanz die notwendige Veränderung ebenso wie zu große Diskrepanz (Ratlosigkeit). Vom Lehrer als falsch oder unzureichend erklärte Interaktionen eines Schülers führen deshalb nicht unbedingt zu einer Modifizierung der kognitiven Struktur beim Schüler. Wir alle benutzen "falsche" Modelle, um Realität individuell logisch zu strukturieren. Das Bohr'sche Atommodell ist sicherlich falsch im Sinne eines Physikers. Trotzdem wird es an Schulen gelehrt und ist in einzelnen Situationen immer noch Grundlage physikalischer Problemlösung. Auch die Erwartung, daß Strom verbraucht wird, ist sicherlich physikalisch nicht adäquat und wird vom Lehrer als falsch bezeichnet. Dennoch ist sie gut geeignet, den Bereich *Energieversorgung im Haushalt* subjektiv befriedigend zu organisieren. Zu vielen Lernangeboten läßt sich eine alternative Basis finden, die das Angebot funktional, bezüglich einer anderen Situation und/oder eines anderen Individuums, in Frage stellt. Erwartungen spielen bei der Auswahl und Modifizierung Handlung organisierender Muster und bei der Konstruktion und Modifizierung von Wahrnehmung eine entscheidende Rolle. Sie relativieren *falsch* und *richtig* und sind das Maß des Individuums bei der Festlegung der Diskrepanz zwischen Handlung organisierender Struktur und rückgekoppelter Auswirkung der Interaktion.

Nach diesen Vorgaben organisierter Unterricht müßte darauf angelegt sein, Schülern eigenes Handeln in sachstrukturkonsistenten Lernumgebungen zu ermöglichen. Dadurch

hätten sie Gelegenheit, situationsbezogene Erwartungen zur Geltung zu bringen und damit die zur adäquaten Bewältigung der Situation notwendigen Veränderungen des zuständigen subjektiven Erfahrungsbereichs (einschließlich Wahrnehmung und Erwartung) unbewußt und bewußt vorzunehmen.

Auf die Erwartungen der von mir beobachteten Schüler bezüglich unterrichtlicher Realität werde ich in der Verhaltensanalyse besonderen Wert legen.

3.3 Die Feinstruktur subjektiver Erfahrungsbereiche

Um die Interaktion von Schülern im Unterricht beschreiben zu können, bedarf es einer Strukturierungsmöglichkeit, die den bisher angeführten Hypothesen über den Aufbau kognitiver Strukturen nicht widerspricht. Die anzuwendende Struktur muß deshalb *Rekursivität* beschreiben können, sie darf das Prinzip der *Selbstreferentialität* nicht verletzen, und sie muß verträglich sein mit der Konstruktion *subjektiver Erfahrungsbereiche*:

Wie bereits in Kapitel II, 2.3 dargelegt, enthält ein (z.B. visueller) Reiz, der auf unsere sensorische Oberfläche trifft, keinerlei Information über seine Geschichte. Es kann vom Organismus nicht einmal entschieden werden, ob das folgende neuronale Signal aufgrund eines Reizes aus der Umgebung oder etwa nach einem Effekt im Augapfel entstanden ist. Auf dieser Ebene der elementaren Sinnessignale gibt es keine (z.B. räumliche oder zeitliche) Bedeutungszuordnung. Die Signale, die in dieser ersten Ebene der Wahrnehmung entstanden sind, sind durch Vernetzungen modifiziert, die nichts mehr mit ihrem physikalischen, chemischen oder mechanischen Ursprung zu tun haben. Die zweite Ebene der Wahrnehmung besitzt wiederum eine Eingangs- und eine Ausgangsfunktion und modifiziert die Ausgangssignale der ersten Ebene.

> Die dritte Ebene wiederum gruppiert und koordiniert Signale, wenn sie - modifiziert durch Schleifen zweiter Ordnung - auftauchen, und einige der daraus hervorgehenden Zusammensetzungen sind dann das, was wir >>Objekte<< nennen.
> (J. Richards und E. v. Glasersfeld 1988, 208)

Auf jeder höheren Ebene erfolgt dann eine Vernetzung zu immer komplexeren Strukturen.

Nach POWERS ergibt sich eine Hierarchie - Objekte, Veränderungen (Eigenschaften), Sequenzen (Beziehungen zwischen Objekten), Beziehungen zwischen Ereignissen, Programme (Strategie), Prinzipien (Heuristik) und Systeme. POWERS entwickelt ein Modell, dessen Leistung darin besteht, Subsysteme innerhalb des

untersuchten Systems zu beschreiben,

> "(...) each having its own properties and all - interacting together according to their individual properties - being responsible for observed appearances."
> (W.T.Powers 1973, 14)

Die Eigenschaften der Subsysteme müssen grundlegende Eigenschaften sein. Sie dürfen nicht ausschließlich aus der Ordnung beobachteter Interaktion entwickelt werden.

> "Still, I think there is a certain amount of confusion extant about the difference between a model for *causes* of behaviour and a model for *consequences* of organization (...). One often sees block diagrams of behavioral organization, but a close inspection usually shows that the blocks are not subsystems inside the behaving system, but subdivisions of its externaly observable behavior."
> (ebenda, 17)

Um ein Modell interner Gründe für Verhalten zu konstruieren, reichen deshalb "selbstkonsistente" Beschreibungen des Verhaltens nicht aus. Es müssen Konstruktionen anderer Wissenschaften für die Theoriebildung herangezogen werden. Mit diesen Konstruktionen muß das beobachtete Verhalten nicht nur von vergangenen Beispielen des Verhaltens abgeleitet werden.

POWERS Hierarchie der Erkenntnis ist nun folgendermaßen zu beschreiben:

In der ersten Ebene der Wahrnehmung existiert eine direkte Verbindung der Sensoroberflächen mit der externen Welt. Die Beziehung zwischen einem externen Ereignis und der Stärke des darauf folgenden neuronalen Signals definiert eine Eingabefunktion. Diese Funktion ist die einzige "Verbindung" der neuronalen Systems zur Realität.

> "All information contained in first-order perceptual signals is therefore information about what is happening to the associated input functions and about nothing else."
> (ebenda, 96)

Die zweite Ebene der Wahrnehmung wird von den Wahrnehmungssignalen der ersten Ebene aktiviert und besitzt wiederum eigene Eingabefunktionen. Das, was in dieser Ebene wahrgenommen werden kann, nennt POWERS *Vektoren*. Diese Vektoren sind eine Analogie zu den sie verursachenden Eingangssignalen auf dieser Ebene.

Die dritte Ebene der Wahrnehmung bezeichnet POWERS als die Ebene, in der Konfigurationen gebildet werden, die man *Objekte* nennen kann. Objekte werden im Rückkopplungsprozeß zwischen Handlung, Wahrnehmung und Erwartung aus den Vektoren der zweiten Ebene gebildet. Die Eingabefunktion der dritten Ebene stellt dabei keine Analogie her zwischen dem, was wir mit Objekten der Realität bezeichnen, und den Konstrukten der dritten Ebene, sondern ausschließlich Verknüpfungen

zwischen den Konstrukten der zweiten und denen der dritten Ebene. Auf dieser Ebene werden u. a. auch visuelle Konfigurationen und Phoneme als Invarianten konstruiert.

> "Some third-order configuration-control acts are elementary and require only a few systems; a frown, for example. Some are so complex and multidimensional that one may require years to learn to control them perfectly; a ten-finger atonal chord on a piano, with the proper note voiced, for example."
> (ebenda, 127)

In der vierten Ebene werden diese Objekte durch die Kontrolle der relativen Veränderung geordnet. Die Wahrnehmung der Veränderung ist hierbei nicht auf den visuellen Bereich beschränkt.

> "I am calling here the 'perception of transitions' may explicitly involve rates of change of any perception of intensity, sensation, or configuration."
> (ebenda, 131)

Den Objekten werden so invariante *Eigenschaften* zugeordnet, die sie voneinander unterscheidbar machen und statisch zueinander ordnen.

In der fünften Ebene werden *Sequenzen* konstruiert.

> "A melody is a sequence of pitches; a chord progression is a sequence of pitch configurations; the bouncing of a ball is a sequence of rising and falling motions; tying the shoelaces requires execution of a sequence of movements and konesthetic configurations.
> (ebenda, 140)

Alle bisher gebildeten Ebenen werden in der fünften Ebene zusammengefaßt zu *Ereignissen* oder *Sequenzen*. Hier werden die Objekte und ihre bisherigen Eigenschaften durch "Änderungen der Zusammensetzungen von Empfindungen" in neuen "räumlich-zeitlichen Entitäten" geordnet.

Die Änderungen und ihr Charakter (Änderungsraten, Richtungen, Relativgeschwindigkeiten u.s.w.) werden selbst Teil des interagierenden Systems.

Die Konstruktionen der fünften Ebenen sind unter anderem auch verantwortlich für die Konstruktion und die Wahrnehmung von Wörtern. Die Wahrnehmung von Phonemen wurden der dritten Ebene zugeordnet, die von Diphthongen der vierten Ebene. Wörter entstehen (und werden wahrgenommen) mit den Funktionen der fünften Ebene. Dieses Modell setzt voraus, daß für Wörter (und Sprache) nicht eine eigene (symbolverarbeitende) Ebene der Wahrnehmung angenommen wird. Das bisher entwickelte Modell enthält eine ausreichende Quantität und Qualität von symbolverarbeitenden Funktionen,

so daß eine Zuordnung von Wörtern zu anderer Wahrnehmung und umgekehrt innerhalb der bisher postulierten Ebenen möglich ist.

Die sechste Ebene der Wahrnehmung organisiert *logische Beziehungen* zwischen Objekten und ihren Eigenschaften und anderen Objekten mit ihren Eigenschaften.

> "(...) those invariants that appear in collections of indipendent events and lower-order perceptions."
> (ebenda, 156)

Logisch heißt hier nicht formal logisch, sondern logisch für die Organisierung der nächsten Handlung.

Die bisher entworfenen Ebenen der Wahrnehmung betreffen das spontane Handeln und seine Kontrolle. Bisher waren keine Elemente wie etwa "decision-making" oder "strategy" (ebenda, 160) an der Wahrnehmung beteiligt.

Die siebte Ebene der Wahrnehmung und Kontrolle ist die Ebene, in der *Strategien* konstruiert werden, die Handlungsabläufe steuern können. Dies geschieht dadurch, daß die bereits vorhandenen Beziehungen durch Kontrollfunktionen in einer erkennbaren Struktur geordnet werden. Struktur heißt hier, daß Entscheidungen über den Einsatz von Beziehungselementen in bestimmten Situationen getroffen werden. Die Strategie, nach der dies geschieht, ist durch Rückkopplung in ähnlichen Situationen entstanden. POWERS nennt die verantwortlichen Strukturen *Programme*. Sie organisieren Handlungsabläufe wie "ein Haus bauen", "Einkaufen gehen" oder "nach der Brille suchen" (ebenda, 163).

Die achte Ebene nennt POWERS die Ebene der *Kontrolle von Prinzipien*. Sind Prinzipien bezüglich einer Klasse von Situationen gebildet und werden sie angewandt, dient die Wahrnehmung niedrigerer Ordnung dazu, das Prinzip zu verifizieren. Dies kann auch allgemein geschehen, also nicht als formal logischer, exakter Prozeß, sondern in der Form einer "Heuristik" (ebenda, 168). Bei der Anwendung und Durchsetzung von Prinzipien müssen deshalb Unschärfen in den unteren Ebenen der Wahrnehmung in Kauf genommen werden, die dazu dienen, das Prinzip zu sichern.

> "It is the nature of heuristics to be fuzzy at the program level, to be somewhat statistical in nature, to be a litle too general for the actual situation."
> (ebenda, 169)

Die neunte Ebene der Wahrnehmung wird als die Ebene der Kontrolle von *Systemkonzepten* bezeichnet. Prinzipien werden in (für das Individuum) logischen Gruppen geordnet.

> "That is how I think of a System: as an entity having an existence that depends primarily on its organization and not on its elements. Some examples of system concepts are the United States Army, the Los Angeles Dodgers, physics, the governement, a family, (...)"
> (ebenda, 172)

Systeme können dabei unterschiedlich komplex sein. Die Komplexität wird durch die Situation festgelegt, in der das System aktiviert wird. Wichtig ist, daß von dieser Ebene Ziele für Handlungen festgelegt und dabei Gruppen von Prinzipien geordnet werden.

Höhere Ebenen der Wahrnehmung werden von POWERS zwar postuliert, aber nicht weiter expliziert.

Bereits in der ersten Ebene wird deutlich, daß es keine Informationsübernahme des Systems aus der Umwelt gibt. Die erste Ebene der Wahrnehmung stellt bereits sicher, daß ein abgeschlossenes System beschrieben werden soll.

Rekursivität wird in dieser Konstruktion dadurch gewährleistet, daß jeder Ebene eine Rückkopplungsschleife zugeordnet ist, die die Konsistenz der Konstruktionen höherer Komplexität bezüglich der Konstruktionen niedrigerer Komplexität feststellen soll. Die Konstruktionen niedrigerer Komplexität dienen dabei der Bestätigung der Konstruktionen der nächst höheren Ebene. Dieses Prinzip sichert der jeweils höheren Ebene größere Konservativität zu. Oder: von unteren zu oberen Ebenen wird die Modifizierbarkeit der Invarianten zugunsten ihrer Komplexität zunehmend verringert. Als letzte, komplexeste und konservativste Ebene kann man sich das *Ich* oder die *Identität* denken.

Beobachtbare Auswirkung auf Verhalten haben alle Ebenen von der dritten Ebene (Objektwahrnehmung) an.

Subjektive Erfahrungsbereiche sind die kognitiven Bereiche, die die Handlungsfähigkeit in bestimmten Situationen organisieren. Wird ein subjektiver Erfahrungsbereich neu gebildet, wird ihm von Beginn der Handlung an eine Erwartung zugeordnet, die Element vieler subjektiver Erfahrungsbereiche sein kann und zur Organisierung der Handlung in der neuen Situation quasi entliehen wird. Dies muß so sein, da sonst innerhalb des Systems keine notwendigen Handlungsziele generiert werden könnten, da neue Erwartungen im zu entwickelnden Erfahrungsbereich noch nicht vorhanden sind. Die "entliehene" Erwartung kann auf allen Ebenen der Wahrnehmung gebildet worden sein, sie ist in der Anfangsphase der Entwicklung eines subjektiven Erfahrungsbereichs aber häufig *Systemen* zuzuordnen. Etwa dem System "Schule" oder "Physikunterricht" oder "Physikunterricht bei einem bestimmten Lehrer". Sie generieren, als Ersatzkonstruktionen, die ersten Handlungsziele. Sobald die ersten Interaktionen in der neuen Situation

stattgefunden haben, kommen die entliehenen Erwartungen, in Abhängigkeit vom gerade ausgebildeten Komplexitätsgrad des neuen subjektiven Erfahrungsbereichs, immer weniger zur Anwendung. Im Prozeß der Entwicklung und Anwendung enthalten subjektive Erfahrungsbereiche dann immer alle Ebenen der Wahrnehmung bis hin zum gerade höchsten Komplexitätsgrad. Die nächste Ebene der Wahrnehmung in einem subjektiven Erfahrungsbereich wird dadurch Ausgangspunkt neuer Konstruktionen, daß zwischen den die Handlungsziele generierenden Erwartungen einer Ebene und der Rückkopplung der dadurch konstruierten Handlung eine optimale, d.h. neue Konstruktionen fördernde Diskrepanz entsteht.

In diesem Sinne läßt sich nun die Funktion von *Wissen* im gerade beschriebenen kognitiven Modell bestimmen.

Jede Definition von Wissen als Wiedererkennen von Wissenselementen setzt voraus, daß eine Repräsentation der Wissenselemente bereits vorhanden ist. Eine Repräsentation von irgendwelchen Elementen im Gehirn würde aber eine nachvollziehbare Abbildung von entsprechenden Umweltelementen zur Grundlage haben müssen. Diese Abbildung kann es aus konstruktivistischer Sicht nicht geben. Wissen ist deshalb aus konstruktivistischer Sicht die Konstruktion und Aufrechterhaltung von Invarianzen, die in einem Lernprozeß als "Determinanten von Handlung" erworben wurden.

> "Diese Invarianzen sind es, die unseren Vorstellungen ihre offensichtliche Stabilität und Dauer verleihen und uns in den Stand versetzen, zu *erkennen* und zu *wissen*. Auf der anderen Seite führt die Aufrecherhaltung von bereits etablierten Konstruktionen unweigerlich dazu, begrenzende Bedingungen für jede weitere Konstruktion zu erzeugen."
> (J. Richards und E. v. Glasersfeld 1988, 212)

Die "begrenzenden Bedingungen" drücken sich darin aus, daß Wahrnehmung erwartungsabhängig ist (s.S. 28).

POWERS' Systematik des Denkens wird von mir benutzt, die Bildung subjektiver Erfahrungsbereiche zu beschreiben und zu beurteilen.

Zentrale Idee ist dabei, daß die Strukturen, auf die ein Individuum (ein Schüler) den Beobachter orientiert, die Strukturen also, die der Beobachter als Verhaltensstrukturen konstruiert, den zugrundeliegenden kognitiven Strukturen nicht widersprechen. Die genaue Bezeichnung der Ebenen besitzt dabei eine untergeordnete Funktion. Wichtig ist die Darstellung der Strukturmerkmale, also die Darstellung der Entwicklung einer Ebene aus der anderen. Subjektive Erfahrungsbereiche sind Einheiten, die diejenigen zur Handlung in einer Situation gebildeten hierarchischen Ebenen enthalten, die bisher zur Konstruktion der Situation möglich und notwendig war. Sie sind funktionale Ein-

heiten (s.S.24ff) in dem Sinne, daß sie subjektiv und situationsabhängig aktiviert werden. Wahrnehmung und Erwartung sind Funktionen des subjektiven Erfahrungsbereichs und damit u.a. Funktion des jeweils höchst möglichen Komplexitätsgrades der Organisationsgrundlage einer Handlung.

Die Funktion des aktivierten *Systems* und der *Prinzipiengruppen* werde ich nicht betrachten. Dies muß weiteren Arbeiten vorbehalten bleiben.

3.4 Lernen als Entwicklung subjektiver Erfahrungsbereiche

Lernen ist die Entwicklung des Systems subjektiver Erfahrungsbereiche, über die ein Individuum verfügt oder: Lernen ist die Fähigkeit eines Systems, zunehmend mehr und zunehmend komplexe Invarianten zu bilden. Lernen findet also auf allen Ebenen der von POWERS entwickelten Hierarchie statt.

Eine Möglichkeit, subjektive Erfahrungsbereiche zu verändern, entsteht immer dann, wenn eine bestimmte Situation nicht vollständig auf der Grundlage bisher gebildeter Invarianten (von Erfahrung) konstruiert werden kann. Das heißt, daß jede verfügbare Musterung (Vernetzung), die in früherer Interaktion bereits Handlung und Wahrnehmung organisiert hat und damit bis zur neuen Nutzung latent vorhanden ist, nun in einer neuen Situation nicht befriedigend eingesetzt werden kann.

Die Veränderung von Verhalten kann dadurch erreicht werden, daß vorhandene Muster reorganisiert werden, also mit vorhandenen Elementen die Operationsbasis verändert wird. Diese Reorganisation wird so lange als kontinuierlicher Prozeß durchgeführt, solange der Rückkopplungsprozeß zwischen Wahrnehmungssystem (subjektivem Erfahrungsbereich) und Handlung einen immanenten Irrtum signalisiert.

Ein Individuum kann nicht im Vorhinein festlegen, wann sich die Struktur seiner subjektiven Erfahrungsbereiche ändert, noch wie diese Änderung aussehen soll. Für einen Beobachter erscheint das gelernte Verhalten aber aus der beobachteten (vom Beobachter konstruierten) Genese dieses Verhaltens erklärbar.

> "Man kann keinen Plan für eigenes Lernen machen (nichts Bestimmtes Lernen wollen), Lernen ereignet sich im Vollzug zielgerichteten Handelns und Denkens."
> (v. Aufschnaiter, 1986, 9)

Lernen ist also nicht die Speicherung neuer Wissenselemente und ihrer bewußten, planmäßigen, Lernzielen folgenden Verbindungen, sondern ein vom Gehirn selbstgesteuerter, kontinuierlicher Entwicklungsprozeß subjektiver Erfahrungsbereiche, der die Veränderung von Verhaltensmöglichkeiten durch Erfahrung zum Inhalt hat und vom

Schüler nicht direkt (gezielt) beeinflußt werden kann. Selbststeuerung bedeutet in diesem Zusammenhang auch, daß das Gehirn auf der Grundlage bereits gemachter Erfahrung und aktueller sensorischer Rückkopplung subjektive Erfahrungsbereiche miteinander verkoppelt. Zielgerichtet dagegen ist das einer Erwartung folgende Handeln. Durch die Beobachtung, daß sich Handlungsziele in ähnlichen Situationen verändern, kann der Beobachter eine Konstruktion erstellen (einen subjektiven Erfahrungsbereich aktivieren), die mit dem gegenwärtigen Zustand des Lernprozesses in Zusammenhang gebracht werden kann.

Unter Berücksichtigung der bereits vorausgesetzten Eigenschaften subjektiver Erfahrungsbereiche (s.S. 24 ff) können sie sich auf folgende Weise ändern:

1. Die Elemente eines subjektiven Erfahrungsbereichs (Wissen, Erwartungen, Gefühle) können sich ändern. Veränderung (Lernen) geschieht nicht durch die Hinzufügung, Summation, Anlagerung oder Abspeicherung von Information, sondern durch an Situationen gebundene Änderung von Bedeutung.

2. Die einzelnen Elemente eines subjektiven Erfahrungsbereichs sind miteinander verbunden. Lernen betrifft die Veränderung dieser Verbindungen bezüglich ihrer Anzahl, ihrer Verbindbarkeit und ihrer Stärke (s.S. 23).

3. Es besteht die Möglichkeit, daß subjektive Erfahrungsbereiche miteinander verbunden werden, um Handlungsziele zu erreichen. Werden einem System subjektiver Erfahrungsbereiche Verbindungen hinzugefügt, kommt es also in einer Situation zur Anwendung von mehr als einem subjektiven Erfahrungsbereich, hat sich das System geändert, es hat Lernen stattgefunden. Auf das entstandene System aus mehreren subjektiven Erfahrungsbereichen können ebenfalls die Strukturelemente *Anzahl der Verbindungen*, *Verbindbarkeit* und *Stärke der Verbindungen* angewandt werden (s.S. 23).

Es ist ein Ziel dieser Untersuchung, Lernen nach 1. und 2. aus Verhaltensänderungen zu identifizieren. 3. setzt voraus, daß subjektive Erfahrungsbereiche vollständig konstruiert und gegeneinander abgegrenzt werden können. Da auch die subjektiven Erfahrungsbereiche, die im Physikunterricht angewandt werden, in der Regel vor der Beobachtung der Schüler im Unterricht entstanden sein dürften, ist ihre vollständige Konstruierbarkeit eher unwahrscheinlich.

3.5 Zusammenfassung

Subjektive Erfahrungsbereiche sind kognitive Bereiche, die vom Individuum in Situationen eingesetzt werden, um die jeweils (zur Erhaltung der basalen Circularität) notwendige Handlung zu organisieren. Sie enthalten alle Elemente, die dazu notwendig sind, u.a. auch Gefühle, Erwartungen und Wissenselemente. Subjektive Erfahrungsbereiche sind Einheiten, die es dem Individuum erlauben, mit sich selbst (mit seinen eigenen neuronalen Zuständen = anderen subjektiven Erfahrungsbereichen) zu interagieren. Diese Gliederung kognitiver Prozesse widerspricht der neuronalen Organisation des Gehirns nicht.

Subjektive Erfahrungsbereiche selbst sind in Wahrnehmungsebenen unterteilbar, die hierarchisch geordnet sind. Die nächst höhere Ebene ist immer die Ebene höherer Komplexität; dies ist ebenso an der neuronalen Organisation wie an Beobachterkonstruktionen von Verhalten zu erkennen.

Durch die Organisierung des Verhaltens durch immer komplexere Ebenen der Wahrnehmung erhalten die Objekte, Eigenschaften, Ereignisse usw., also die jeweils niedrigeren Ebenen, einen anderen Charakter. Das zunächst invariante Objekt hat sich durch Zuordnung neuer Invarianten auf der Eigenschafts-, Ereignisebene usw. geändert und wird zu einer neuen komplexeren Invariante. Das neue Objekt wird von der höchst möglichen Wahrnehmungsebene aus organisiert. Die Grenze dieses Prozesses wird durch den Bezug zur eigenen, bereits vorhandenen konservativen Struktur des jeweils aktiven subjektiven Erfahrungsbereichs und durch die (Lern-) Umgebung bestimmt.

Alle Handlungen eines Schülers können mit Hilfe der Wahrnehmungsebenen von POWERS und der Konstruktion subjektiver Erfahrungsbereiche strukturiert werden. Es ist zu erwarten, daß eine komplexe Struktur mit einer internen Systematik entsteht, die sich rekursiv und situativ abgeschlossen verändert und immer komplexere Invarianten erkennen läßt. Die Invarianten jeder Wahrnehmungsebene sind die Wissenselemente.

4. Subjektivität und Kommunikation

4.1 Subjektivität der Sprache

Die Beachtung der Subjektivität als Prinzip ergibt sich zwanglos aus der Anerkennung der Erwartungsabhängigkeit von Wahrnehmung. Ich möchte dies am Beispiel der Kommunikation deutlich machen:

Kommunikation ist entwickelt worden, um Verständigung von Individuen über gemeinsame Handlungsziele möglich zu machen. Werden Kommunikation und kognitive Strukturen auf einer nicht subjektiven Ebene behandelt oder gar die Sprache als intersubjektives Strukturelement kognitiver Strukturen aufgefaßt, ergeben sich mehrere Widersprüche. Dies sei an folgenden Zitaten dargestellt. Die in den Zitaten zum Ausdruck kommenden Ideen sind, mehr oder weniger explizit, Grundlage eines großen Teils der didaktischen Forschung und der didaktischen Praxis in den Schulen:

> "Wie bereits festgestellt, umfaßt das semantische Gedächtnis unser Wissen bezüglich Wortbedeutungen, bezüglich der Sprache, bezüglich Handlungsweisen (z.B. <<Rezepte>>) und Problemlösungsstrategien. Es beinhaltet ebenfalls unser Tatsachenwissen über die Welt, die darin vorkommenden individuellen Ereignisse, Personen, Örtlichkeiten und Gesetzmäßigkeiten. (...) Gegenwärtig gibt es zwei Hauptmethoden der Repräsentation semantischen Wissens, die beide in modernen Computersimulationsprogrammen implementiert sind. Die eine nimmt an, daß der Großteil des Wissens in Form einer inhaltlich spezifizierten Graphenstruktur dargestellt werden kann, (...). Der zweite (...) Ansatz (...) versucht die Konzepte als Inferenzregeln und Entscheidungsverfahren (...) zu fassen."
> (Bower/Hilgard, 1984, 265 f)

> "Die allgemeine Vorstellung und der Begriff haben eine sinnliche Grundlage. Die Wirklichkeit bewußt widerzuspiegeln bedeutet jedoch nicht nur, sie sinnlich zu erleben. Schon bei der einfachsten Wahrnehmung eines Gegenstandes spiegeln wir nicht nur seine Form und seine Farbe wider, sondern zugleich auch die objektive und konstante Bedeutung, die dem Ding beispielsweise als Nahrung oder als Werkzeug zukommt. Es muß danach eine besondere Form der bewußten Widerspiegelung geben, die sich qualitativ von der unmittelbaren sinnlichen Widerspiegelung des Tieres unterscheidet.
> Welches ist die konkrete Form, in der der Mensch die ihn umgebende objektive Wirklichkeit erfaßt? Diese Form ist die Sprache, die nach den Worten von KARL MARX das praktische Bewußtsein des Menschen darstellt."
> (Leontjew, 1977, 211)

> "In diesem Zusammenhang (Sprache als Ermöglichung besonderer Art des Denkens, d.V.) interessiert vor allem die Tatsache, daß der Prozeß des Denkens sprachlich determiniert sein kann, daß bei sprachlich gesteuerten Denkprozessen also eine innere Sprache vorhanden sein muß, über die wir in der geistigen Operation verfügen können."
> (Radigk, 1986, 89)

Wieder ließe sich die Reihe der Zitate fortsetzen, und wieder lassen sich ähnliche Hypothesen in unterschiedlichsten Ansätzen erkennen. Es wird postuliert, daß der Mensch

mit Sprache denkt. Sprache wird als Medium zur Wissensspeicherung gesehen, um damit neue Handlungsstrategien zu errechnen (auch das "praktische Bewußtsein" ist nichts anderes als eine Rechenmaschine). RADIGK geht darüber noch hinaus und bezeichnet Sprache als irgendwie verfügbare, also auch gespeicherte, Determinante für Denken. Dies ist nur möglich, wenn Sprachelemente *an sich* Bedeutung beinhalten, wenn also das individuelle Gehirn Träger intersubjektiver, von ihm unabhängiger Elemente ist. Dies wiederum ist nur möglich, wenn man eine direkte Übernahme von Bedeutung aus der Realität zugrunde legt. Auf der Grundlage der bisher entwickelten Hypothesen sind hierzu folgende Anmerkungen zu machen:

1. Der Mensch ist als Ganzes Teil seiner selbst konstruierten kognitiven Welt, also auch mit seiner Sprache. Es gibt für den Menschen nur diese eine, auf der Grundlage seiner Phylogenese, seiner Ontogenese und seiner aktuellen Wahrnehmung situationsadäquat konstruierte kognitive Welt. Sprache ist ein Teil dieser kognitiven Welt. Bei aller möglichen interindividuellen Bedeutungsähnlichkeit ist jedes sprachliche Konstrukt deshalb für jedes Individuum etwas grundsätzlich Eigenes.

2. Die selbst konstruierte kognitive Welt ist Wirklichkeit (s.S. 16). Die Dinge und Ereignisse in dieser kognitiven Welt werden aber so, wie wir sie wahrnehmen, von anderen Lebewesen (und auch anderen Menschen) nicht wahrgenommen. Die kognitive Welt der Fledermaus z.B. enthält sicherlich prinzipiell andere Kostruktionen als die aller Menschen, da ihre Sinnesorgane und das Gehirn anders sensibel sind als die Sinnesorgane und das Gehirn der Menschen, also auf einer anderen funktionalen Grundlage eine andere Wirklichkeit hergestellt wird. Denken bezieht sich also immer auf Dinge und Ereignisse im Gehirn, die gerade so bei anderen Lebewesen (anderen Menschen) nicht vorhanden sind. Sprache aber ist Teil der wahrgenommenen (konstruierten) Wirklichkeit (auch wenn sie still gesprochen wird, wenn man sich mit ihrer Hilfe etwas vorstellt) und ist deshalb Gegenstand der Bedeutungszuweisung und nicht ihr Instrument.

3. Da Wahrnehmung im wesentlichen eine Funktion des Gehirns auf der Basis seiner Strukturen mit auslösenden Sinnesorganreizungen ist, ist sie in hohem Maße abhängig von der individuell-situativ generierten Erwartung. Wahrnehmung und Gedächtnis lassen sich nicht getrennt darstellen. Ein Individuum nimmt nicht das wahr, was objektiv vorhanden ist, sondern das, was nach auslösenden Reizen an Musterung im Gehirn als Wahrnehmung von einer konkreten Situation konstruiert wird. Sprache (mit ihren grammatikalischen Strukturen) ist Teil dieser Konstruktion, nicht ihr Gestaltungsprinzip. Als Instrument der Kommunikation hat sie einen

großen Anteil an der Bildung von kognitiven Elementen und Strukturen, ohne selbst Element oder Teil der Struktur zu sein. Sprache besitzt deshalb ausschließlich orientierende Funktion.

Die Untersuchung von Lernprozessen geschieht also mit der Annahme, daß die zu beobachtende Interaktion nur auf der Basis subjektiver Vorgänge im Gehirn entstanden sein kann. Interindividuelle Kongruenzen herzustellen, ist das Ziel einer Interaktion, nicht ihre Grundlage. Dieses Ziel kann mit Mitteln der Kommunikation (u.a. Sprache) erreicht werden. Am Anfang einer jeden Kommunikation kann deshalb nur Bedeutungsdivergenz stehen, die aufgrund gemeinsamer Handlungsziele in einem u.U. mühsamen Prozeß beseitigt werden soll, und nicht eine dem wahrzunehmenden Gegenstand oder dem Begriffsnamen anhaftende Information. Das Handeln in diesem Prozeß nenne ich *kommunikatives Handeln.*

Eine Untersuchung von Lernprozessen beinhaltet immer auch die Notwendigkeit einer Bedeutungszuweisung seitens des Beobachters auf seiner subjektiven kognitiven Grundlage. Das Problem besteht darin, daß der Prozeß der Bedeutungszuweisung ohne Kommunikation zwischen Beobachter und Probanden vorgenommen werden muß. Diesen Prozeß nenne ich *interpretatives Handeln.*

4.2 Kommunikation und Verhalten in einer sozialen Umgebung

Die Betonung der Subjektivität kognitiver Prozesse (10) führt bei der Beobachtung und Interpretation von Verhalten vordergründig zu Schwierigkeiten. Wie kommt es, daß semantisch abgeschlossene Systeme kommunizieren und, wie es scheint, gemeinsame Handlungsziele verfolgen?

Im konstruktivistischen Modell kann Kommunikation nach MATURANA folgendermaßen beschrieben werden:

> "Kommuniziert ein Organismus mit einem anderen, dann erzeugt der erste Organismus eine BESCHREIBUNG seiner Nische, die das Verhalten des zweiten Organismus in dessen kognitivem Bereich auf eine Interaktion hin orientiert. Dieses durch Orientierung hervorgerufene Verhalten ist denotativ: (...)." (Schmidt, 1988, 26)

Das kommunikative Handeln (oder nach MATURANA Orientierungsverhalten) eines Menschen orientiert den kognitiven Bereich eines anderen Menschen auf eine (diese)

(10) Zwischen Ereignissen der Umwelt und neuronalen Zuständen kann nach LETTVIN, MATURANA, McCulluch und PITTS (1959) keine eindeutige Beziehung hergestellt werden. Ein Schluß von der Ähnlichkeit neuronaler Strukturierung unterschiedlicher Individuen auf ähnliches Verhalten und umgekehrt ist also nicht möglich.

Interaktion und löst in ihm eine konnotative Interaktion, also interpretatives Handeln aus.

Kommunikation zwischen semantisch abgeschlossenen Systemen (Menschen) ist also möglich, weil kommunikatives Handeln (einschließlich Sprache) eine (ausschließlich) orientierende Funktion besitzt, es aber ansonsten den kommunizierenden Menschen überlassen bleiben muß, wohin sich der jeweils selbstständige kognitive Bereich orientiert. Es wird also keine Information übertragen (auch nicht durch Sprache), sondern jeweils dadurch erzeugt, daß die am Kommunikationsprozeß Beteiligten die in ihrem kognitiven Bereich im Kommunikationsprozeß entstandenen Differenzen dadurch verkleinern, daß sie in ihrem jeweils eigenen kognitiven Bereich interagieren und Bedeutung zuweisen. Diese Bedeutungszuweisung führt zu kommunikativer Handlung u.s.w. Interaktionen (z.B. auch Sprachäußerungen) enthalten also keine Informationen, sondern sind Auslöser einer Bedeutungszuweisung im kognitiven Bereich des Orientierten.

> "Und was schließlich die Sprache und die sprachliche Verständigung betrifft, so halten wir unsere Auslegung des Gehörten oder Gelesenen stets so lange für annehmbar (>>viabel<<), solange wir da nicht auf offenkundige Widersprüche stoßen. Ob die Auslegung, die wir uns aufgebaut haben, mit dem übereinstimmt, was der Sprecher oder Schreiber im Sinn hatte, läßt sich auf keine Weise erkunden; denn selbst wenn wir ihn endlos befragen könnten, feststellen könnten wir ja immer nur Widersprüche oder Abwesenheit, nie aber eine >>tatsächliche<< Übereinstimmung oder Gleichheit."
> (v. Glasersfeld, 1988, 440)

Das bedeutet für den Unterricht:

Wegen des konnotativen Charakters von Sprache erhält der Orientierende gegenüber dem Orientierten (der Lehrer gegenüber dem Schüler) eine andere Funktion als häufig in der Schule angenommen. Grundlage aller didaktischen Überlegung muß sein, daß der Schüler im schulischen Kommunikationsprozeß immer eigene Bedeutung zuweist und nicht Informationen übernimmt. Je weniger Kommunikation im Unterricht stattfindet, um so unwahrscheinlicher ist eine Bedeutungszuweisung durch den Schüler, die der erwünschten Orientierung nahekommt. Eine konstruktive Verringerung der Diskrepanz (s.S. 27) zwischen der Beschreibung der Lehrerinteraktion und Erwartung in der kognitiven Welt des Schülers ist nur dann möglich, wenn die Schülerin/der Schüler nicht ausschließlich interpretativ handelt. Entwickeln sich die Schule betreffende Teilbereiche der kognitiven Welt des Schülers auf der Grundlage von nicht zu beseitigenden Differenzen, werden, wenn Handeln notwendig ist, Ersatzkonstruktionen erstellt, die die Differenzen in der Interaktion unwichtig machen. Diese Ersatzkonstruktionen sind Elemente der *System-* bzw. *Prinzipebene* (s.S 33) und führen wiederum zu Interaktionen des Schülers, die u.a. mit "Befriedung des Lehrers", "inhaltsneutrale Bear-

beitung der Lernumgebung (z.B. Auswendiglernen)" oder "Vermeidung weiterer Interaktion" beschrieben werden können. Zur Bildung neuer subjektiver Erfahrungsbereiche, also zum Ersatz der hier erzeugten Erwartungen durch in der Interaktion neu entstandene, kommt es nicht.

Kommunikation im Sinne von - Verringerung der Diskrepanz zwischen Beschreibung der Lehrerinteraktion (oder Interaktion anderer Schüler) durch einen Schüler und den Erwartungen an die entsprechende Situation - kann nur dann stattfinden, wenn allen am Interaktionsprozeß Beteiligten eine räumlich und zeitlich adäquate Lernumgebung zur Verfügung steht. Adäquat ist die Lernumgebung dann, wenn sie Kommunikation zuläßt, ohne die Bildung von Ersatzkonstruktionen zu begünstigen bzw. deren Ersatz zu verhindern (s.S.34).

4.3 Zusammenfassung

Ich nehme an, daß es keine gesonderte, für die Konstruktion symbolischer Elemente zuständige Ebene der Wahrnehmung gibt. Sprache (Zeichen, Symbole) wird wie andere Objekte konstruiert und die Konstruktion mit dem Modell der subjektiven Erfahrungsbereiche und ihrer Gliederung nach POWERS beschrieben. Sprache (und ihre Elemente) ist dabei selbst Objekt, Eigenschaft, Ereignis usw. und nicht Medium der Wissensspeicherung oder gar Determinante für Denken. Sprache besitzt nicht "an sich" Bedeutung, sondern erhält Bedeutung in der Interaktion, in einem an eine Situation gebundenen Denkprozeß, auf der Grundlage bereits gebildeter Strukturen.

Kommunikation ist möglich, weil Sprache orientierende (konnotative) Funktion besitzt. Konsens kann nur im Verlauf einer Interaktion festgestellt werden. Am Anfang eines Kommunikationsprozesses (einer Interaktion) ist deshalb damit zu rechnen, daß zwischen den beteiligten Partnern Dissens überwiegt.

III Der Unterricht

1 Planungsvorgaben

Das Ziel der Untersuchung ist letztlich, etwas zum Verständnis von Lernprozessen von Schülern im Physikunterricht beizutragen. Daraus und aus der Annahme, daß sich subjektive Erfahrungsbereiche situationsabhängig entwickeln ergibt sich, daß Schüler unter Standardbedingungen im Unterricht beobachtet werden müssen. Der Unterricht wurde für eine 10. Gymnasialklasse des Schulzentrums Rockwinkel in Bremen in Zusammenarbeit mit dem unterrichtenden Lehrer W.G. DUDECK geplant und im Winterhalbjahr 1986/87 in 13 Doppelstunden (je 90 Minuten) unterrichtet. Um den Schülern ausreichend Möglichkeiten zur Kommunikation zu eröffnen (s.Kapitel III, 4.4), wurde der Unterricht in der Tradition der "Wissenschaftlichen Einheit Didaktik der Physik" an der Universität Bremen "spielorientiert" im Rahmen des Projekts "schulnahe Forschung" des Senators für Bildung, Wissenschaft und Kunst geplant und durchgeführt.

Spielorientierung geht nach v. AUFSCHNAITER u. a. davon aus, daß Menschen beim Handeln und Lernen,

> "(...) ständig bestrebt (sind) Nichtspielsysteme in Spielsysteme zu überführen, das heißt also, fremde Ziel- und Prozeßvorgaben durch Identifizierung oder Modifizierung in eigene Ziele und Vorgehensweisen zu verwandeln." (v. Aufschnaiter, Prüm, Schwedes 1984, 259)

> "Lernen (...) findet nach HELANKO überwiegend in Spielsystemen oder bei der Umwandlung von Nichtspielsystemen in Spielsysteme statt." (ebenda, 259)

> "Spielorientierung bedeutet (...), daß ein Lehrer systematisch darauf achtet, daß möglichst viele Schüler möglichst häufig Spielsysteme bilden, das heißt also im Unterricht selbstbestimmt handeln und denken können." (ebenda, 261)

Drei grundsätzlich unterschiedliche Typen von Lernumgebungen wurden für den Unterricht geplant.

1. Es gab ausschließlich handlungsorientierte (spielorientierte) Phasen. In ihnen wurde den Schülern ohne Anleitung Material zur Verfügung gestellt, mit dem eine adäquate Behandlung des geplanten Inhalts möglich war. Als Einführung war nicht mehr als eine kurze Demonstration des Lehrers zugelassen. Z.B. in der ersten Doppelstunde der Unterrichtseinheit, als vom Lehrer wortlos eine PVC-Folie geladen und über eine Glimmlampe entladen wurde und der Lehrer eine geladene PVC-Folie über seine Haare hielt.

2. Es wurden Phasen geplant, in denen es den Schülern freigestellt war, selbst entwickelte Handlungsziele zu verfolgen, oder Handlungsziele des Lehrers zu bearbeiten. Vorgegeben wurde wieder eine Vielzahl von Materialien (die Schüler hatten auch Zugang zur Physiksammlung und nutzten dies), dazu kam, wie in der 5. Doppelstunde, eine Liste von Versuchen, die mit diesen Materialien durchzuführen waren.

3. Daneben war es nötig, Modelle zu entwickeln. Dies konnte zum Teil im Gespräch der einzelnen Schüler mit dem Lehrer während der handlungsorientierten Phasen geschehen, teilweise dienten hierzu lehrerzentrierte Gespräche wie in der 3. Doppelstunde bei der Einführung eines Modells für die Ladungsvorstellung.

2 Die Unterrichtseinheit

2.1 Die Konzeption

"Der Spannungsbegriff zählt zu den schwierigsten Begriffen der Schulphysik. Die Schwierigkeiten sind vielfältig. Sie liegen vor allem in der Physik des Spannungsbegriffs und in den Schülervorstellungen begründet, die das Verständnis dieses Begriffs belasten."
(v. Rhöneck, 1988)

"Aus folgenden Gründen wählten wir den elektrostatischen Weg zum Aufbau eines Spannungskonzepts:
- Spannung wird hierbei als eigenständiger Begriff aufgebaut, der im Laufe der nachfolgenden Unterrichtseinheit in ein Konzept Spannung - Stromstärke - Widerstand eingebunden wird. Insbesondere die häufige Schülerauffassung, daß Spannung eine Art Eigenschaft des Stroms ist, kann damit vermieden werden. (...)
- Der Stromstärkebegriff wird durch vorherige Unterrichtseinheiten als weitgehend entwickelt vorausgesetzt. Im übrigen spielt Stromstärke im Spannungsteil der Unterrichtseinheit eine (...) untergeordnete Rolle (als kurzfristiger Ladungsausgleich).

Für den elektrostatischen Weg spricht darüberhinaus:
- Es existieren nur in Ausnahmen bei Schülern Vorkonzepte im Bereich Elektrostatik. (...)
- Der elektrostatische Ansatz erlaubt die Entwicklung eines Ursache-Wirkung-Konzepts für die elektrischen Begriffe. Die elektrischen Vorgänge können damit plausibel begründet werden für den Bereich geschlossener Stromkreise.(...)
Mit Hilfe des Kondensators wird eine Überleitung (...) versucht. (...) Kondensatoren sehr hoher Kapazität ermöglichen dieses Vorgehen. (...)

> Die Schüler entwickeln im Laufe mehrerer Experimentier- und Diskussionsphasen Vorstellungen, die das Erlebte strukturieren und erklären. Sie konstruieren Vorstellungen von Ladungen, verschieden geladenen und ungeladenen Körpern, von Ladungstrennung (Arbeit) und Ladungsdichte. Sie bilden (...) und verwenden Begriffe wie Ladungsdruck, Ladungsausgleichsbestreben usw. (...)
> Da diese Konzepte für die Schüler neu und ungewohnt sind, ist es wichtig, daß die Schüler sich intensiv und vielfältig damit auseinandersetzen und dabei erfahren, daß sich diese Konzepte immer wieder bewähren und andere wiederum nicht. (...)
> Die von uns intendierten Konzeptentwicklungen lassen also Vielfalt zu, auch Kombinationen von Spannungsumschreibungen, (...).
> (Dudeck, Fischer, 1989)

Dieses in der Arbeitsgruppe entwickelte Konzept soll hier nicht weiter beschrieben werden. Die genauen Planungsvorgaben können dem Forschungsbericht entnommen werden.

Es folgt nun die Darstellung der einzelnen Doppelstunden der Unterrichtseinheit, wie sie im Verlauf der Durchführung von Herrn Dudeck erstellt wurde. Diese Darstellung ist bereits Ergebnis einer ersten Rückkopplung, die nach jeder Doppelstunde anhand eines Protokolls und der Viedeoaufnahme erfolgen konnte.

2.2 Die einzelnen Doppelstunden der Unterrichtseinheit

Die erste Doppelstunde

1. Der Unterricht beginnt mit einer Demonstration des Lehrer: Eine PVC-Folie wird auf dem Kopf gerieben und eine andere zwischen den Hosenbeinen hindurchgezogen und mit einer Glimmlampe entladen.

2. Die Schüler sollen mit dem vorhandenen Material Versuche selbst durchführen.

   Material: Polyester-Lineal, Wollappen, PVC-Folien, Glimmlampen, Tischtennisball, Tischtennisball mit Graphit besprüht, Polyester-Becher mit Graphit besprüht, Styroporplatten unterschiedlicher Dicke, Aluminium-Platten, Kabel, Wollfaden, Stativmaterial, diverse Lappen, alles erreichbare Material.

Die zweite Doppelstunde

1. Strukturierung der in der letzten Doppelstunde durchgeführten Versuche. Entwicklung eines Modells zur Erklärung beobachteter Phänomene.

2. Darstellung eines Modells der Kontaktelektrizität.

3. Anwendung des Modells am Elektroskop und an der Influenz.

Die dritte Doppelstunde

1. Bearbeitung eines Fragenkatalogs zum Trainieren des Umgehens mit dem eingeführten Elektrostatik - Modell in den Arbeitsgruppen.

2. Diskussion der Ergebnisse (Fragen, Phänomene) im Klassengespräch. Dabei Einführung: Übertragung von Ladung und Leiter/Nichtleiter.

3. Untersuchungen zu "Influenz" und "schrittweise Entladung" am Elektroskop in den Arbeitsgruppen.

Die 4. Doppelstunde

1. Wiederholung

2. Freie und an Fragestellungen orientierte Schülerexperimente mit dem Elektroskop

3. Diskussion der Fragestellungen, die sich nach 2. ergeben haben. Einführung von "Influenz", "Ladungsdichte" und "kleinste Ladung".

4. Freie und an Fragestellungen orientierte Schülerexperimente zum Thema "Influenz und Ladungsdichte".

Die 5. Doppelstunde

1. Anwendung des Modells:
   Influenz, Unterscheidung Leiter/Nichtleiter, Influenz und Polarisation, Kraft zwischen Ladungen, Ladungsdichte, kleinste Ladung.

2. Freie und an Fragestellungen orientierte Schülerexperimente zum Thema "Ladungsdichte" und "Influenz".

3. Diskussion der Fragestellungen aus 2. Einführung der Beziehungen "Ladungstransport - Strom", "Wechselstrom", "Ladungsspeicher".

Die 6. Doppelstunde

1. Experimentelle Vorführung und Diskussion zu den Fragestellungen und Schülerideen der Experimentierphase der letzten Doppelstunde.

2. An Fragestellungen orientierte Schülerexperimente zum Thema "Energie und Ladung".

3. Vorführen der Experimente durch die Schüler und Diskussion der Fragestellungen aus 2.

Die 7. Doppelstunde

1. Diskussion des Experiments "Energie von Ladungen".

2. Demonstrationsexperimente "Ladungsrollo" und "Magnetpucks auf dem Luftkissentisch".

3. An Fragestellungen orientierte Schülerexperimente zum Thema "Ladungsspeicher", "Energiespeicher" und "Kondensator".

4. Vorführung und Diskussion der Schülerexperimente aus 3.

5. Diskussion über Fragen der Schüler zum Elektrostatik - Modell.

Die 8. Doppelstunde

1. Diskussion über "Ladungsspeicherung" und "Ladungsdichte", um die Experimentierphase vorzubereiten.

2. Wiederaufnahme der in der letzten Doppelstunde unterbrochenen Experimentierphase "Bau eines Energiespeichers".

3. Vorführung der Schülerexperimente und Diskussion der vorgegebenen und neu entstandenen Fragen.

4. Schülerexperiment zur eng umrissenen Fragestellung:"Gibt es einen Einfluß des Plattenabstands auf die Kapazität?"

5. Diskussion von 4. Einführung des Begriffsnamens bzw. der Beziehungen "Kompensation" und "Kapazität".

Die 9. Doppelstunde

1. Nach vierwöchiger Unterrichtspause Lehrervortrag über Hypothesen, Eigenschaften und Beziehungen der letzten Doppelstunde zur Ladungsspeicherung.

2. Demonstrationsexperiment zu $C = f(d)$.

3. Anfertigung eines Stichwortkatalogs zu 2. durch die Schüler.

4. Diskussion des Prinzips "Kompensation".

5. Experimente und Diskussion zur Fragestellung:"Was geschieht bei der Abstandsänderung in einem Plattenkondensator?"

Die 10. Doppelstunde

1. Diskussion der Hausaufgabe. Protokoll und Erklärung des Versuchs "Kapazität und Plattenabstand".

2. Diskussion des Versuchs "mehr Energie bei gleicher Ladung".

3. Schülerexperiment zur Beziehung zwischen dem "Trennen geladener Kondensator - Platten" und der "Flucht von Elektronen auf ein angeschlossenes Elektroskop".

4. Einführung des Begriffsnamens und der Beziehung "Spannung".

Die 11. Doppelstunde

1. Diskussion der Klassenarbeit.

2. Einführung der Maßeinheit "1 Volt".

3. Demonstrationsversuch zum Bau eines kleinen Kondensators hoher Kapazität.

4. Freie Schülerexperimente mit Kondensatoren als Spannungsquelle in einem Stromkreis.

5. Vorführung und Diskussion der Versuche.

Die 12. Doppelstunde

1. Diskussion der Hausaufgabe. Es sollten Versuche zum Laden und Entladen eines Kondensators über eine Lampe erklärt werden.

2. Einführung des Vielfachmeßgeräts zur Stromstärken- bzw. Spannungsmessung.

3. Freie Experimente mit Kondensatorstromkreisen.

Die 13. Doppelstunde

1. Diskussion der Fragen zur Kondensatorentladung.

2. Training des Umgangs mit dem Vielfachmeßgerät.

3. Experimentierphase: Aufnahme von U-t, I-t und U-I - Diagrammen bei der Kondensatorentladung.

IV Die Methode

1. Einführung

Dem Untersuchungsziel entsprechend werden Falluntersuchungen im Physikunterricht durchgeführt. Da Denken situationsabhängig (s.S. 21) ist und sich neue subjektive Erfahrungsbereiche situationsgebunden bilden (s.S. 24), muß die Untersuchung im Unterricht durchgeführt werden. Die handlungsorientierte Organisierung des Unterrichts war notwendig, weil nur so Schülerverhalten über Sprechen hinaus initiiert werden konnte. Eine weitere Begründung für die Beobachtung der Schüler im laufenden Unterricht war das Untersuchungsinteresse *Lernprozesse*. Um Aussagen über Denken und Lernen von Schülern zu machen, ist es notwendig, die Beobachtung über einen langen Zeitraum und, bezüglich der Beschäftigung der Schüler mit dem Gegenstand, lückenlos zu dokumentieren. Eine Untersuchung mittels Interviews wäre dem Ziel nicht angemessen gewesen.

Zwei Schülerinnen (Tanja und Petra) und ein Schüler (Jens) einer 10. Klasse des gymnasialen Zweiges eines Bremer Sekundarstufen I - Zentrums wurden zunächst durch Beobachtung des laufenden Physikunterrichts ausgewählt. Auswahlkriterien waren die Fähigkeit zur Zusammenarbeit bei Schülerversuchen, die allgemeine Aufmerksamkeit im Unterricht und, in Abstimmung mit dem Lehrer, soziale Aspekte, die die Klassengemeinschaft und Freundschaften betrafen. Die Auswahl der Schülerinnen und Schüler ist sicherlich ein kritischer Punkt der Untersuchung. In einer vorherigen Erprobung an einer anderen Schule und mit einem anderen Lehrer, bei der Schüler nach denselben Kriterien ausgewählt wurden, ergab sich nach 4 Unterrichtsstunden, daß sich die Schüler weigerten, vor der Kamera zu arbeiten. Diese Voruntersuchung mußte abgebrochen werden. Eine andere Schwierigkeit ergibt sich dann, wenn einzelne Schüler der ausgewählten Arbeitsgruppe den Physikunterricht nicht ständig besuchen, eine lückenlose Untersuchung deshalb nicht möglich ist. Bei meiner Untersuchung war z.B. nicht vorhersehbar, daß die Schülerin Petra, trotz umfangreicher Aktivitäten in der vorausgegangenen Auswahlphase, während der gesamten Beobachtungszeit vollkommen inaktiv war. Petra kann in der Untersuchung deshalb nicht berücksichtigt werden. Tanja und Jens waren während der gesamten Beobachtungszeit (vom 24.09.86 bis zum 17.02.87) anwesend und aktiv. Um die Untersuchung in dieser Beziehung abzusichern, ist es möglich, zwei Gruppen auf Videofilm festzuhalten. Ein Nachteil dieses Vorgehens ist der große apparative Aufwand mit zwei Aufnahmeeinheiten. Ebenfalls am Aufwand scheitert eine entscheidene Verbesserung der Tonqualität. Wegen der Mikrophoncharakteristik (Niere) gelingt es nicht, Nebengeräusche auf ein leicht erträgliches Maß zu

senken. Mit bedienten Richtmikrophonen wäre hier ein Fortschritt zu erzielen. Beide Vorgehensweisen, Aufnahme zweier Gruppen und Einsatz von Richtmikriphonen, würden den Unterricht massiv stören. In der vorliegenden Untersuchung besteht die Datenbasis aus den Videoaufnahmen, den schriftlichen Unterlagen, die Petra, Tanja und Jens erstellten, allen schriftlichen Unterlagen, die der Lehrer den Schülern zur Verfügung stellte und einem Protokoll, in dem die Aktivitäten anderer Schüler bezüglich der Arbeitsgruppe und die Aktivitäten des Lehrers aufgezeichnet wurden.

2. Die Beobachtung

2.1 Beobachtung als Interaktion zweier selbstreferentieller Systeme.

Geht man davon aus, daß menschliche Nervensysteme mit ihren Verbindungselementen zur Realität (Sensoren, Effektoren) selbstreferentielle Systeme sind, muß man dies natürlich auch für den Beobachter akzeptieren. Die Verbindung zwischen zwei (mehreren) abgeschlossenen Systemen ist über Verhalten in der Realität und dessen Interpretation durch das jeweils andere System auf der Grundlage der dem interpretierenden System eigenen Eigenschaften möglich. Da zwischen Realität und Individuum prinzipiell keine Bedeutungsübertragung stattfindet (s.S 10 ff), kann Verhalten nur Veränderungen der neuronalen Prozesse bei anderen Individuen tendentiell einleiten.

Beobachter (z.B. Lehrer) und beobachteter Schüler bilden also zwei voneinander unabhängige Systeme, die auf der Basis ihrer eigenen kognitiven Strukturen miteinander kommunizieren, wobei der eine für den anderen Teil und jeder für sich selbst Konstrukt seiner eigenen kognitiven Welt ist. Für den Beobachter bedeutet dies, daß er, auf der Grundlage seiner bis zum Beobachtungszeitpunkt entwickelten kognitiven Strukturen, Verhalten des Schülers beschreibt und bewertet und versucht, zukünftiges Verhalten des Schülers für sich selbst logisch vorherzusagen. Er entwickelt eigene Konstrukte subjektiver Erfahrungsbereiche der Schüler, die dann auf dem Hintergrund anderer individueller kognitiver Strukturen beurteilbar sind usw.

Ausgehend von ähnlicher soziokultureller Umgebung oder zumindest Kenntnis über die sozio-kulturelle Umgebung der Schüler seitens des Beobachters sind Rückschlüsse vom System subjektiver Erfahrungsbereiche des Beobachters auf das des Schülers möglich. Das beobachtete Schülerhandeln hat so, über die Konstruktion des Beobachters, eine Verbindung zu den kognitiven Strukturen des Schülers, die das Wiedererkennen von Objekten und Situationen ermöglichen und für die jeweilige Handlung in einer Situation verantwortlich sind. Die Konstruktion des Beobachters zu subjektiven Erfahrungsbereichen der Schüler (interpretativ) kann dabei, nachdem das zugehörige Verhalten des Schülers stattgefunden hat, in der Diskussion mit dritten abgesichert werden (kommunikativ). Die Absicherung selbst ist als Prozeß der Beseitigung von Divergenzen in der Kommunikation bezüglich gemeinsamer Handlungsziele zu verstehen.

2.2 Der symbolische Interaktionismus

Datenbasis für die Beobachtung ist die Interpretation der Interaktion des Schülers mit allen Komponenten (auch den nichtsprachlichen) seitens des Beobachters. Hierbei wird für alle Interaktionsbereiche eine intersubjektive Semantik unterstellt. Wie bereits be-

schrieben (s.S. 36 ff) ist diese Semantik im Laufe der phylo- und ontogenetischen Entwicklung im einzelnen Menschen aus der Notwendigkeit entstanden, mit anderen Menschen gemeinsam zu handeln. Wie R. PRÜM beziehe ich mich, allerdings mit Einschränkungen, auf die drei grundlegenden Prinzipien des symbolischen Interaktionismus:

> "Die erste Prämisse besagt, daß Menschen 'Dingen' gegenüber auf der Grundlage der Bedeutung handeln, die diese Dinge für sie besitzen. (...) Die zweite Prämisse besagt, daß die Bedeutung solcher Dinge aus der sozialen Interaktion, die man mit seinen Mitmenschen eingeht, abgeleitet ist oder aus ihr entsteht. Die dritte Prämisse besagt, daß diese Bedeutungen in einem interpretativen Prozeß, den die Person in ihrer Auseinandersetzung mit den ihr begegnenden Dingen benutzt, gehandhabt und abgeändert werden."
> (Blumer 1973, 81, zitiert nach Prüm 1988, 12)

In Gegensatz zu BLUMER und PRÜM vertrete ich aber nicht die Auffassung, daß

> "die Bedeutung eines Dinges für eine Person (...) sich aus der Art und Weise (ergibt), in der andere Personen ihr gegenüber in Bezug auf dieses Ding handeln. Ihre Handlungen dienen der Definition dieses Dinges für diese Person."
> (Blumer 1973, 83, zitiert nach Prüm ebenda, 13)

Wie bereits dargelegt (s.S. 10 ff), ist das Entstehen von Bedeutung nicht auf die Handlung von Interaktionspartnern zurückzuführen, sondern Ergebnis eines individuellen Prozesses, der sich ableiten läßt von einer durch Erwartung organisierten Wahrnehmung der eigenen, wiederum von Erwartung organisierten, interaktiven Handlung. Bedeutungszuweisung geschieht daher immer innerhalb des individuellen Systems und ergibt sich nicht aus der außerhalb liegenden "Definition dieses Dinges für diese Person". Intersubjektivität kann sich also nicht auf interne Prozesse des Individuums beziehen, sondern auf die Fähigkeit, gemeinsam zu handeln. Kognitive Prozesse unterschiedlicher individueller Ausprägung können intersubjektiv ähnlichen Handlungen und der Verfolgung als gemeinsam konstruierter Ziele dienen.

Durch diese Sichtweise kann der Widerspruch zwischen der zweiten und dritten Prämisse bei BLUMER aufgelöst werden. In der zweiten Prämisse wird postuliert, daß Bedeutung aus sozialer Interaktion entsteht, in der dritten dagegen, daß Bedeutung in einem individuellen, interpretativen Prozeß vom Individuum abgeändert wird, daß abgeänderte und damit neue Bedeutung also individuellen Ursprung hat.

Hier werden zwei unterschiedliche Ebenen unzulässig vermischt. Auf der einen Seite sieht BLUMER die Notwendigkeit, daß Bedeutungszuweisung individuell geschehen muß, auf der anderen Seite trennt er diesen Prozeß nicht vom Prozeß der auf der Basis individueller Bedeutungszuweisung entstehenden, interindividuellen Ähnlichkeit von

Verhalten. Diese Ähnlichkeiten sind Ergebnis eines individuellen Prozesses neuer Bedeutungszuweisung nach erfolgter (sozialer) Handlung. Sie haben Einfluß auf die Bedeutungszuweisung dadurch, daß sie Teil der Erwartung eines Individuums in einer bestimmten Situation sein können. Sie drücken sich u. U. in der Verfolgung gemeinsamer Handlungsziele mehrerer Individuen aus.

Um soziales Handeln erklären zu können, muß man annehmen, daß sich zwischen Menschen eines Kulturkreises so viele interindividuelle Ähnlichkeiten gemeinsamen Handelns entwickelt haben, daß sie zur Verfolgung gemeinsamer Handlungsziele fähig sind. Dies ist die Rechtfertigung für die Analyse der Interaktionen von Schülern, da auch zwischen Schülern und Beobachtern ähnliche Erwartungen bezüglich gemeinsamer Handlungsziele oder beobachteter Handlung postuliert werden müssen.

2.3 Eine sozialwissenschaftliche Begründung für die Möglichkeit der Interpretation von Schülerinteraktion

> "Verschiedene Handlungsmodelle setzen jeweils andere Beziehungen des Aktors zur Welt voraus; und diese Weltbezüge sind nicht nur für Aspekte der Rationalität des Handelns konstitutiv, sondern auch für die Rationalität der Deutung dieser Handlungen durch einen (z.B. sozialwissenschaflichen) Interpreten. Mit einem formalen Weltkonzept läßt sich nämlich der Aktor auf Gemeinsamkeitsunterstellungen ein, die aus seiner Perspektive über den Kreis der unmittelbar Beteiligten hinausweisen und auch für einen von außen hinzutretenden Interpreten Geltung beanspruchen."
> (Habermas 1981, 152)

Eine Verbindung zwischen HABERMAS und dem hier ausgearbeiteten Konstrukt vom Denken des Menschen gelingt über das "formale Weltkonzept". Es kann interpretiert werden als individuelle kognitive Welt (s.S. 10 ff), die zu anderen solchen Welten die Beziehung besitzt, unter dem Einfluß eines zwischen vielen Individuen geführten Kommunikationsprozesses mit ähnlichen Handlungszielen entstanden zu sein.

Bei der Interpretation von Schülerinteraktionen im Unterricht gehe ich davon aus, daß die Schüler kommunikativ handeln, d.h. der

> "Ausgang der Interaktion selbst (wird) davon abhängig gemacht, ob sich die Beteiligten untereinander auf eine *intersubjektiv gültige* Beurteilung ihrer Weltbezüge einigen können."
> (ebenda, 157)

"Beurteilung" fasse ich interaktiv, als Teil der Kommunikation auf. Es wird also die Annahme gemacht, daß während des kommunikativen Handelns der Schüler die Tendenz besteht, erfahrene Diskrepanzen zwischen Erwartung und Rückkopllung der Handlung durch Kommunikation zu verringern.

Die Beschreibung und Interpretation von kommunikativen Handlungen ist aus folgenden Gründen möglich:

1.

> "Der Sozialwissenschaftler hat zur Lebenswelt grundsätzlich keinen anderen Zugang als der sozialwissenschaftliche Laie. Er muß der Lebenswelt, deren Bestandteile er beschreiben möchte, in gewisser Weise schon angehören. Um sie zu beschreiben, muß er sie verstehen können; um sie zu verstehen, muß er grundsätzlich an ihrer Erzeugung teilnehmen können; und Teilnahme setzt Zugehörigkeit voraus."
> (Habermas, 1981, 160)

Einen Text verstehen zu wollen, bedeutet also, an einem Verständigungsprozeß teilzunehmen und Beobachtetem und Beobachter gemeinsame Standards zu unterstellen. Schon das Sammeln von Daten ist Interpretation im Sinne der eigenen Auswahlkriterien bzw. der unterstellten gemeinsamen Standards. Eine deskriptive oder interpretative Erfassung von kommunikativen Handlungen kann deshalb nur dann erfolgen, wenn man anerkennt, daß zwischen den beteiligten, voneinander unabhängigen Systemen interindividuelle Ähnlichkeiten bestehen, von denen aus eine Beurteilung von Einverständnis und Dissens, Geltungsansprüchen und potentiellen Gründen bezüglich selbst konstruierter, aber dem Kommunikationspartner unterstellter, Erwartung möglich ist.

2. Nach HABERMAS kann ein Beobachter soziale Prozesse nur dann interpretieren, wenn er selbst potentieller Teilnehmer an den Verständigungsprozessen ist. Dieser Forderung wird der Beobachter nur dann gerecht, wenn er sich zunächst, auf einer ersten Ebene der Auswertung, der im Objektbereich angetroffenen Sprache bedient. Er greift dazu auf sein eigenes, vortheoretisches Wissen zurück. Erst nach einer Beschreibung in der Sprache des Falls können die so gewonnenen Daten mit einer theorieabhängigen Beobachtersprache interpretiert und danach, je nach Intention des Beobachters, noch weiter bearbeitet werden. Dabei ist zu beachten, daß nach HABERMAS die Bedeutung der kommunikativen Handlung nur deshalb verstanden werden kann, weil diese in den Kontext verständigungsorientierten Handelns eingebettet ist, daß der Interpret sein Wissen über die Bedeutung der kommunikativen Akte also nur aus dem Kontext der jeweils beobachteten Kommunikation beziehen kann. Dieses Vorgehen verhindert weitgehend, daß dem Schüler Konzepte, Theorien usw. unterstellt werden, die interindividuell nicht oder mit großer Diskrepanz kommuniziert werden (s.S. 39 ff).

   OEVERMANN spricht bei der Einschätzung der Gültigkeit einer Interpretation davon, daß die "latenten Sinnstrukturen" nur im

"Zusammenspiel aller jener Regeln, die an der Erzeugung eines Textes beteiligt sind, (konstituiert werden). Es sind dies die universellen und einzelsprachspezifischen Regeln der sprachlichen Kompetenz auf den Ebenen der Syntax und der Phonologie, die Regeln einer kommunikativen oder illokutiven Kompetenz, (...) die universellen Regeln einer kognitiven und moralischen Kompetenz und die das sozio-historisch spezifische Bewußtsein des sozialisierten Subjekts konstituierenden institutionalisierten Normen, lebensweltspezifischen Typisierungen und Deutungsmuster - also Regeln unterschiedlichen Typs und unterschiedlicher gattungsgeschichtlicher oder historischer Reichweite der Geltung."
(Oevermann, 1979, 387)

Diese Regeln werden intuitiv, auch ohne vollständige theoretische Durchdringung, vom Interpreten angewandt. Das Ergebnis ist eine Interpretation, die grundsätzlich nicht abgeschlossen sein kann, da sich die Kompetenz des Interpretierenden ständig verändert.

"Der Interpretationsprozeß ist also prinzipiell offen und seine Ergebnisse sind jederzeit revidierbar."
(ebenda, 391)

3. Als Beobachter befindet man sich nicht auf der Ebene eines Kommunikationspartners mit dem Ziel, einen Konsens in Bezug auf zielgerichtetes Handeln zu erreichen. Der Beobachter konzentriert sich ausschließlich auf den Prozeß der Verständigung. Dadurch nimmt er sich einerseits die Möglichkeit, seine Interpretation oder Beschreibung direkt vom Beobachteten hinterfragen zu lassen. Andererseits wird das beobachtete System so wenig wie möglich in der Entwicklung seiner kognitiven Strukturen gestört, und das Datenerhebungsverfahren bleibt im Rahmen dessen, was unter Schulbedingungen möglich und von einem einzelnen Beobachter gerade noch zu leisten ist. Um diese Interpretation ohne Kommunikation mit dem Beobachteten abzusichern, schlägt OEVERMANN folgendes Verfahren vor:

"Praktikabel ist dagegen die Forderung, die einzelnen, individualspezifischen Beschränkungen der Interpreten dadurch auszugleichen, daß die Interpretationen in einer Gruppe ständig kontrolliert werden. Das allein aber reicht nicht aus, wenn nicht zusätzlich die Gruppenmitglieder eine hohe Bereitschaft zeigen, gerade streitsüchtig ihre Interpretation möglichst lange mit Argumenten gegen Einwände aufrechtzuerhalten, damit sie, wenn sie scheitern, möglichst informationsreich scheitern."
(ebenda, 393)

Dieses Verfahren ist bei den vorliegenden Datenmengen nur eingeschränkt anwendbar und in weiten Teilen der Analyse dadurch ersetzbar, daß die Konsistenz der Interpretation im Sinne der konstuktivistischen Theorie für die gesamte Analyse erhalten bleiben

muß. Das von OEVERMANN vorgeschlagene Verfahren ist dann nur noch auf die Teile der Interpretation anzuwenden, die, nach Meinung des Interpreten, Konsistenz vermissen lassen.

2.4 Die Kasusgrammatik

"Als ein Instrument zur Analyse der in den verbalen Äußerungen der Schüler zum Ausdruck kommenden Beziehungen zwischen den verwendeten Begriffen (soweit sie den Unterrichtsgegenstand betreffen) wird die Fillmore'sche Kasusgrammatik eingesetzt.
Die Kasusgrammatik entstand aus der Frage nach universellen Tiefenstrukturen, die allen oder den meisten Sprachen gemeinsam sind (Fillmore, 1972). FILLMORE postuliert, daß diese Tiefenstrukturen semantischer Natur sind und das Verb das zentrale Bestimmungsstück in den Sätzen darstellt.
Durch das Verb werden Begriffe miteinander in Beziehung gesetzt, indem sie zu Teilnehmern an der durch das Verb angegebenen Handlung deklariert werden. (...) Ein Satz ist erst dann grammatisch korrekt, wenn je nach Verb eine Mindestzahl von Teilnehmern (mit bestimmten Eigenschaften) zueinander in Beziehung gesetzt werden, darüber hinaus sind freiwillige Zusätze erlaubt.
(...) FILLMORE postuliert, mit nur wenigen Argumenttypen (Kasusrolle) auskommen zu können. (Anzahl und Beschreibung wurden von ihm später mehrmals modifiziert.) Als mögliche Rollen, die Begriffe als Handlungsteilnehmer in einem beliebigen Satz übernehmen können werden genannt:

- Aktor (agent)
- Empfangender oder auch Erfahrender (rezipient oder experiencer).
- Instrument
- Objekt
- Ursprung (source)
- Ziel (goal)
- Ort (location)
- Zeit

(Prüm, 1988, 18)

In der vorliegenden Arbeit werden, wie bei PRÜM, diese Kategorien nur benutzt, um Schüleraussagen zu strukturieren. Die von FILLMORE vorgeschlagene Strukturierung von Sätzen entspricht der Struktur, die von Teilnehmern eines Kommuikationsprozesses intuitiv erwartet wird. Deshalb ist es z.B. möglich, Texte zu verstehen, in denen Teile fehlen. Ein Beobachter kann Sätze von Schülern (die Schüler untereinander) ergänzen und unterstellen, daß die Bedeutung sich nach der Ergänzung nicht geändert hat bzw. interindividuelle Bedeutungsähnlichkeit zwischen unvollständigem Schülersatz und vom Beobachter vervollständigtem Satz vorliegt.

2.4 Zusammenfassung

Beobachtung von Schülerverhalten ist Interaktion zweier selbstreferentieller Systeme, die Beschreibung des Beobachters (interpretative Kommunikation) deshalb immer seine eigene Konstruktion. Die Beschreibung wird dadurch gerechtfertigt, daß konsensuelle Bereiche zwischen Beobachter und Schüler angenommen werden. Diese intersubjektiven semantischen Bereiche sind notwendig, weil jeder Mensch zur Erhaltung des eigenen Organismus (physisch, psychisch und sozial) mit anderen Menschen gemeinsame Handlungsziele entwickeln muß. Viele, verschiedene Situationen betreffende konsensuelle Bereiche, ergeben das "formale Weltkonzept", das kommunikatives Handeln möglich macht. Da der Beobachter selbst potentieller Teilnehmer an diesem Prozeß ist, kann er ihn beschreiben. Die Bedeutungszuweisung gelingt durch die Anerkennung der Konsistenz als Leitprinzip der eigenen Konstruktion kommunikativen Handelns.

Kommunikativem Handeln wird darüber hinaus auch eine gemeinsame Struktur unterstellt, die Kommunikation erst möglich macht. Sie erlaubt außerdem die Konstruktion inhaltlicher Ergänzungen unvollständiger Texte.

3. Die Darstellung der Interpretationsschritte

Bereits die erste Ebene der Interpretation, der Bedeutungszuweisung durch den Beobachter, läßt besondere Schwierigkeiten erkennen. Am Anfang der Untersuchung verfügt der Beobachter über weniger Konstruktionsmöglichkeiten von Schülerverhalten als am Ende. Der Beobachter lernt selbst, indem er versucht, das Verhalten der Schüler immanent logisch zu erklären. Durch die Länge der Untersuchung würde sich die Interpretation im Laufe der Untersuchung deshalb deutlich ändern müssen. Dadurch, daß nicht genau zu verstehende Textstellen gekennzeichnet werden, ergibt sich allerdings die Möglichkeit, im Verlaufe der weiteren Bearbeitung der Texte die Lücken zu schließen. Ein zweites Kriterium der Überprüfung ist die Konsistenz der Konstruktion des Beobachters bezüglich der Schülerinteraktion. Man kann davon ausgehen, daß eine adäquate Beschreibung der Interaktion vorgenommen wird, wenn in längeren Handlungsphasen keine im Sinne der Interaktion unlogischen Textstellen konstruiert werden. Die Überprüfung der Konsistenz ist nur dann sinnvoll, wenn die Interpretation der Daten sequentiell erfolgt, also zur Konstruktion einer Textstelle keine zukünftigen Konstruktionen herangezogen werden.

3.1 Das Transkript

Folgende Transkriptionsregeln und Zeichen werden benutzt:

1. Die Identifizierung des Sprechers

Die Numerierung erfolgt nach (Unterrichtsstunde/Seite des Protokolls/ Nummer der Zeile). Pe, Ta und Je sind die beobachteten Schüler. Andere Schüler werden mit Ca, Me usw. bezeichnet, wenn sie identifiziert werden konnten. Nicht zu identifizierende Schüler werden in einer Handlungssequenz mit S1, S2 usw. bezeichnet.

L1 ist der Lehrer, L2 der Beobachter und L3 der Protokollant.

Je:Ta : Je spricht zu Ta. Diese Bezeichnung entfällt, wenn der Bezug aus dem : Kontext hervorgeht
Je: : Adressat nicht festgelegt oder eindeutig

2. Linguistische Zeichen

Die Reihenfolge ist chronologisch.

Pe= : Parallel zur vorherigen zu lesende Äußerungen.
... : Ende einer unterbrochenen Äußerung. Sie werden mit ... fortgesetzt.
: Ebenfalls mit ... werden auffällig schnelle Anschlüsse
: gekennzeichnet.
mhm : Zustimmung
hm : Ablehnung

3. Paralinguistische Zeichen

, : kurzes Absetzen innerhalb einer Äußerungsfolge
... : kurze Pause
.... : mittlere Pause
(5s) : lange Pause
. : Senken der Stimme am Ende eines Wortes oder einer Äußerung
- : Stimme in der Schwebe
' : Heben der Stimme
unmöglich : auffällige Betonung
u n m ö g l i c h : gedehnt

4. Nonverbale Anteile

(lauter)
(steht auf)
(lächelt)
(singt) : Handlungen oder Kommentare
?...? : unverständliche Äußerung
?zwischen? : vermuteter Wortlaut

Im folgenden wird das Transkript der 2. Handlungsphase der (11201-12410) der 1. Doppelstunde wiedergegeben. Die Handlungen der Schüler sind, entsprechend ihrer Sitzordnung am Tisch, in Spalten geordnet (Petra, Tanja, Jens). Handlungen anderer Schüler und Handlungen des Lehrers werden über die gesamte Seite geschrieben. Die Spalten sind chronologisch von links oben nach rechts unten geordnet. Die Numerierung ist für die erste Seite des Originals in Schritten von 5 Zeilen angegeben, anschließend nur noch für jede Seite. Die angegebene Seitenzahl stimmt mit der des Originals des Tonprotokolls überein. Sie hat sich durch eine Formatänderung in der vorliegenden Darstellung verschoben.

11201

L1: Das kann man so mit Sprühflaschen draufmachen (geht weg)

Ta: (Hält Pe die beschichtete Seite zur Untersuchung hin.)

Pe: (Streicht mit der Glimmlampe über die beschichtete Seite des Lineals, die Lampe leuchtet nicht.)

11205

Ta: Ah, das leitet den Strom weg, (dreht sich dabei zu Je) wohin'

Je: Kunststoffsachen nehmen ihn auf. Speichern ihn sozusagen.

Ta: Und was war das noch' ... Kunststoff (nimmt das graphitbeschichtete Lineal in die

11210

Hand und dreht es unentschlossen hin und her.)

Je:Ta: ...das funktioniert (Schnell hinterher, so als wolle Je verhindern, daß Ta einen neuen Versuch beginnt) Hab ich schon.

Ta: Plastikseite. Was is das denn hier. (=Je) (Klopft mit dem Finger auf das Lineal) ... das'

11215

(schreibt und murmelt dabei unverständlich den Text.)

Je= ... lädt sich auf. Oder was. (Hält Lappen und Aluminium-Folie gegeneinander) Ob das Anziehung macht muß man auch mal ausprobieren.

Ta:Je: Hä' (schaut auf) das hab ich doch gerade vor' machs mit Wolle. (vorwurfsvoll)

11220

(Nimmt einen Wollfaden und hält ihn Je hin.)

Ta: (Legt Aluminium-Folie weg und nimmt eine PVC-Folie) Nee. Brauchst nich mehr reiben ... hier. (Hält zum Beweis PVC-Folie und Lappen hoch. Die Gegenstände ziehen sich an.)

11225

Ta:Je: Reib ma (Besteht auf Handlungsziel und hält gleichzeitig den Wollfaden hoch, den sie inzwischen entwirrt hat.)

Je:Ta: (Hält die PVC-Folie an den Wollfaden, der Wollfaden wird angezogen.) Hab ich eben zweimal ausprobiert.

11230

Ta: Stark.

(Reibt die PVC-Folie erneut und hält den graphitierten

11301

Tischtennisball in die Nähe der PVC-Folie. Der Ball wird angezogen.)

Ta: Hääää' (Rutscht vor Aufregung (freudig erregt) auf dem Stuhl hin und her. Es scheint sie sehr überrascht zu haben, daß der Tischtennisball von der PVC-Folie angezogen wird.) Das hätt ich auch nich gedacht ... der is doch relativ schwer ... oder' (Schaut dabei zu Je. Ist mit dem letzten Satz wieder ruhig geworden.)

Je:Ta: zwei Komma fünf Gramm ... Tischtennisball.

Ta:Je: Tischtennis' ... sicher'

Je:Ta: Hm (bestätigend) ... hörste schon am Klang (Reibt die PVC-Folie mit dem Lappen)

Ta: (Nimmt den Ball in die Hand und überprüft die Aussagen von Je) Nee. Daß das genau zwei Komma fünf Gramm' sind. (Hält den Tischtennisball am Faden hoch.)

Je: (Hält die PVC-Folie hoch.)

(Der Tischtennisball pendelt etwas)

Je:Ta: Nee warte ich wollte das ohne Pendeln ... laß einfach mal hängen. (Reibt die PVC-Folie mit dem Lappen) Jetzt komm langsam näher' aber ganz langsam. (Hält die PVC-Folie hoch)

Ta: (Nähert sich mit dem Tischtennisball langsam der geladenen PVC-Folie.)

Je:Ta: Stopstopstop. Jetzt mal ganz langsam' ein kleines Stück nur noch ...

(Der Tischtennisball wird von der PVC-Folie angezogen.)

Ta: Stark ... also. (Schreibt)

Je: (Reibt mit dem Lappen den Tischtennisball und anschließend die PVC-Folie. Je hält den Tischtennisball an die PVC-Folie und beobachtet wieder Anziehung) Der is mit Graphit beschichtet ... schätz ich mal so. (Hält den Ball prüfend in der Hand.)

Ta:Je: Hm'

Ta:Je: Der is mit Graphit beschichtet. Schätz ich mal.

Ta:Je: Fragen wir ihn ma.

Je: (Wendet sich zum Lehrer 1 und hält dabei den Tischtennisball hoch.)

11401

Je:L1: Herr Dudeck' Auch graphitbeschichtet' ... auch beschichtet'

L1:Je: Ein graphitierter Tischtennisball.

Je: (Läßt den Ball in den Polyester-Becher fallen.)

L1: (Kommt zum Tisch)

Je: (Nimmt ein graphitbeschichtetes Polyester-Lineal in die Hand und reibt es mit dem Lappen)

L1:Je: Ja. Genau wie das.

Je: Hm. (Hält das Polyester-Lineal an die PVC-Folie, die Gegenstände stoßen sich ab.) Die stoßen sich ab. ?...?

L1: Sieh an.

Ta: Was'

Je: Sieh an.

Ta:Je: Waswaswas' Zeig mal. (Hat bisher geschrieben und den Versuch deshalb nicht beobachten können.)

Je: Leiter und Nichtleiter st ... äh ziehen sich an und zwei Leiter stoßen sich ab hier. (Reibt die PVC-Folie und das graphitierte Polyester-Lineal mit dem Lappen.) Plastikseite und Plastikseite. (Nähert sich langsam mit der nicht graphitierten Seite des Polyester-Lineal der PVC-Folie.)

Ta: (Schaut zu Je)

Je:Ta: Der stößt sich ganz leicht ab hier.

L1: Macht den Versuch doch mal ... gut ne der war in Ordnung. Warum habt ihr denn nur eine Folie genommen. Ihr seid so sparsam.

Je: Was. Sollen wir zwei nehmen' Zwei Folien. (Deutet mit den Händen zwei parallel gehaltene Folien an.)

L1: (Legt eine neue PVC-Folie auf den Tisch.)

Je: ?...? klar (Legt beide PVC-Folien übereinander und reibt die obere mit dem Lappen. Anschließend zieht er die Folien auseinander.)

11501

Ta:Je: Aberaberaber. Wart mal ... gib mal her

Je=Ta: ?Die gehen zusammen?

(Schnappt mit beiden Händen nach den PVC-Folien, die von Je hochgehalten werden. Reibt beide Folien aneinander.)
(Ta zieht die Folien langsam auseinander, sie hält die PVC-Folien dabei hoch und in Richtung Je.)

Je:Ta: Gehts'

Ta:Je: Wie kommt das'

Je:Ta: Weiß ich nich ... auf jeden Fall ham sie sich nich aufgeladen. (Je hat keinen Effekt wahrgenommen.)

Ta: (Schreibt, diktiert sich dabei selbst.) Wir lassen Tuch und Folie' ...

Je: (Legt eine PVC-Folie auf den Deckel einer Kladde und reibt sie mit dem Lappen. Legt eine andere PVC-Folie daneben, reibt sie mit dem selben Lappen und hält die Folien nebeneinander. Die Folien ziehen sich an, sie kleben aneinander.) (Je lacht) Und jetzt' ?am? Metallteil' ... die andere Seite dieses Dings. (Nimmt das graphitbeschichtete Polyester-Lineal und nähert sich damit der PVC-Folie.) Flupp. (Reibt die PVC-Folie mit dem Lappen. Die PVC-Folie wird vom Polyester-Lineal angezogen. Je dreht das Lineal um und nimmt an der nicht beschichteten Seite des Lineals ebenfalls Anziehung wahr.)

Ta: (Schaut auf) Aberaberaber. Papa ... ach so.
(Schreibt weiter.)

Je: Ich mach mal mit dem Alu. (Reibt die PVC-Folie mit dem Lappen und hält sie neben eine Aluminium-Folie. Die Aluminium-Folie

wird angezogen.) Flopp. (Ratlos. Hat kein Handlungsziel. ... Nimmt graphitbeschichteten Tischtennisball und legt ihn wieder weg. Reibt einen Polyester-Becher auf der Innenseite mit dem Lappen.)

Ta: (Schaut kurz auf, als wolle sie kontrollieren, daß Je ohne sie weitermacht.)
Ta: Was wird jetzt' ...

Je: Ich weiß es nich.

Ta: Laß uns doch mal mit den ganzen Versuchen ?von der? Gruppe auf uns warten.

Je: (Nimmt Tischtennisball und versenkt ihn im gerade geriebenen Becher.) Ja ich versenk den ja bloß (Schreibt, Schreiben ist eine Rechtfertigung gegenüber Ta. Andere Schüler stehen um den Tisch herum und beobachten, wie Je den Tischtennisball langsam absenkt und vorsichtig der Becherwand nähert)
Je: Leicht ?aber nicht stark? (Die Aussage bezieht sich auf die Rechtfertigung. Bei diesem Versuch muß etwas herauskommen, auch wenn nichts zu beobachten ist. Je erleichtert sich so den Rückzug zur Gruppenarbeit, wie sie von Ta gefordert wird.)
Je:Ta: Bei welchem bist du denn stehengeblieben.

Ta: Ich bin überhaupt noch nich fertig mit schreiben. ...

Je: (Unterbricht) Ja bei welchem bist du denn stehengeblieben Mensch. (Eindringlich. So als wolle er deutlich machen, daß er eigentlich schon immer bereit war zu helfen, Ta ihn aber daran hindere.)

Ta: Ich bin ers mal da wo. Hier' (liest vor) Wir reiben die Folie mit dem Acryltuch und halten ... und lassen Tuch und Folie' Wolle und Folie' Tischtennisball und Folie parallel zueinander hängen. Sie ziehen sich an.

Je: Ja.

Ta: Ergebnis' Plastikfolie und Stoff und Metalle ziehen sich an ... ja. Fein. (Schaut zu Je)
Je: Leiter und Nichtleiter. Ja.

Ta: und dann' (Schreibt)

Je: Und dann weiter' Dann haben wir den Versuch gemacht mit zwei Folien. Die stoßen sich ab.

Pe: (Nimmt gelangweilt ein Teil das nicht zu erkennen ist aus der Federmappe.)

Ta: (Schreibt.)

T5: (Keine Aktivitäten darüber hinaus)

Je: (Dreht sich zu T1 um. Lacht.)

11601

Je: (Spielt mit dem Faden vom Tischtennisball. Nimmt Aluminiumplatte und einen Lappen, reibt mit dem Lappen eine PVC-Folie und hält Folie und Platte parallel zueinander mit den Händen hoch) Was wir noch nich gemacht ham' mit zwei Leiter. ... polieren wieder' (Reibt die PVC-Folie) ... plopp (PVC-Folie und Aluminiumplatte ziehen sich an) ... Ha. (Hält, als würde er darüber nachdenken, quasi zur Probe, graphitbeschichtete Seite des Polyester-Lineals an die Aluminiumplatte. Reibt die Aluminiumplatte mit einem Lappen und hält wieder das Polyester-Lineal daran. Da offensichtlich kein Effekt zu erkennen ist, dreht er das Lineal um, so daß jetzt die PVC Seite zum Aluminium zeigt. Wieder kein Effekt.)

Ta: (Hat Schreiben beendet, liest vor) Wir reiben zwei Folien aneinander und die ziehen sich an. (Schiebt Heft beiseite) ... Aber warte mal' gib mir mal die Folie' ...

Je: Ja Moment mal nee' die ziehen sich nicht an.

Ta: Zwei Folien haben wir aneinander gehalten.

Je: Ja Moment mal. Die laden sich aber garnicht erst auf'

Ta: Was'

Je: Die laden sich nich auf.

Ta: Wetten daß' pa'mal auf (Versucht Je die beiden Folien aus der Hand zu nehmen)

Je: (Nimmt zwei PVC-Folie und reibt sie aneinander, läßt sich die Folien nicht wegneh-

men) Meinst du jetzt' daß die jetzt so zusammen sind' (Bei "so" läßt er eine Folie los, sie fällt herunter.)

Ta: Nein ... gib mal.(Nimmt beide PVC-Folien und reibt sie heftig aneinander.)

11801

Ta.: (Ta trennt die Folien und nähert sie wieder einander. Kein Effekt.) Ei die ham sich doch vorhin zusammengezogen.

Je: Warte mal ... (Nimmt beide Folien) ... das kann aber garnicht sein. ... dürfte nich. (Schaut dabei zum L1 und lacht.)

L1: Hä hä hä. Was machst du denn da Junge' Finde ich gut. ... (Kommt zum Tisch, um beim Versuch von Je zuzusehen.)

Je: Finde ich gut ja (Tenor: son Quatsch finden sie gut) Hier ... da (Zieht die Folien auseinander. Sie beeinflussen sich nicht erkennbar.)

L1: Das auch. Klappt nix'

Je: Ja kann ja auch nich. (Legt PVC-Folien weg.)

Ta: (Schreibt)

L1: Kann nich' Hast du eine Theorie'

Je: Halbwegs aber.

L1: (Verläßt den T5)

Ta: Ich auch' (Schaut auf und Je an.) ... die Energien da drin stoßen sich ab (Deutet mit den Händen Abstoßung an)

Je:Ta Aber eine Energie müßte da schon irgendwie reinkommen.

Ta: Sicher. ... Die Wärmeenergie ... hä hä (verlegenes Lachen)

Je: ?...? Ne warte ma (Nimmt Aluminium-Folie und reibt sie auf der PVC-Folie) ... kann man die auch mit Leitern ohne Schwierigkeiten aufladen' (Benutzt PVC-Lineal, erst die PVC-Seite, dann die Graphitseite, als Detektor für Ladung. Es ist kein Effekt zu erkennen.)

Ta: (Schreibt weiter)

Je: (Der Versuch wird wiederholt, diesmal dient der Tischtennisball zum Ladungsnachweis. Je hält ihn am Faden neben die Folie. Der Tischtennisball wird angezogen.) Aha' is auch mit nem Leiter aufzuladen.

Ta: (Schaut auf) Was' ... noch mal.

Je: Mit dem hab ichs gerieben (Zeigt mit der PVC-Folie auf die Aluminium - Folie.)

Ta: Echt'

11901

Je: (Hält noch einmal den Tischtennisball zum Beweis gegen die PVC-Folie.)
Je:Ta Halt du noch mal in die Luft.

Ta: hä'

Je: Halt du noch mal in die Luft. (Hält Ta die PVC-Folie hin, sie soll sie festhalten, während er die Folie mit der Aluminium - Folie reibt.)

Ta: Schon ganz zerschrammt.

Je: Das macht nichts.

Ta: Die arme Folie. (Mit bedauerndem Ton.)
Ich hab aber gleich auch noch ne Idee.

Je: (Zieht die Aluminium - Folie ab, sie klebt an der PVC-Folie.)

Ta: Äh. Kleb.

Je: (Nähert sich mit dem Tischtennisball an langem Faden der Folie, der Ball bleibt ganz wenig hängen.)

Ta: Ih' gib weg. ... Warte mal reib noch mal'

Je: (Reibt PVC-Folie erneut.)

Ta:Pe Wo is die Glimmlampe'

Je: (Die Aluminium - Folie bleibt an der PVC-Folie hängen, Je will sie abziehen)

Pe: (Nimmt die Glimmlampe in die Hand)

Ta:Je Halt' laß mal drauf' laß mal drauf ...

Pe: (Nähert sich mit der Glimmlampe der Aluminium - Folie)

Ta: Jetzt ran an die Glimmlampe (Hält beide Folien waagerecht, die Aluminium - Folie oben. Kein Effekt.)
Ta:Je Nee reib noch mal'.

Je: (Reibt noch einmal mit der Aluminium - Folie auf der PVC-Folie.)

Pe: (Tastet Aluminium - Folie mit der Glimmlampe ab, es ist nichts zu erkennen.)

Je: Andere Seite.

Pe: (Tastet die Unterseite der Folien (PVC-Folie) mit der Glimmlampe ab, auch hier ist nichts zu erkennen.)

Ta: (Schaut erstaunt zu Je) Fein. Klebt aber gut nich' (Versucht dabei die Aluminium - Folie durch heftiges Schütteln der PVC-Folie von ihr zu lösen.)

Je: (Zieht die Aluminium - Folie ab und legt sie auf den Tisch.)

Ta: (Legt die PVC-Folie auf den Tisch, beginnt zu schreiben.)

12001

Je: (Reibt inzwischen einen PVC-Becher von außen mit einem Tuch, testet wieder mit einem Tischtennisball) Aha ... ahhh (Der Tischtennisball wird deutlich angezogen.)

Ta: Hä' (unterbricht das Schreiben und schaut zu Je.)

Je: kriste nich in die Mitte. der rollt immer rum. ...? ...? langsam machst.

Ta: Stark ... aber warum geht das denn nich' ... ich versteh das nich Metall leitet doch ne' (Nimmt Aluminium - Folie in die Hand.) Warum geht das nich' wenn man die auflädt die Folie' das Metall darauflegt und die Glimmlampe da ranmacht.

Je: hm' (fragend) ... vielleicht stellt man mit dem Metall auch die Verbindung zur Erde her ... nach Art der Blitzableiter.

Ta: Nee ... reib mal (Nimmt PVC-Folie stramm in beide Hände.) ...

Je: Womit'

Ta: Damit (Deutet mit dem Kopf auf den Lappen)

Je: (Nimmt Lappen und reibt damit die Folie.)

Ta: Ganz doll.

Je: (Reibt fester.)

Ta: Ahh sie rutscht. So jetzt das da schnell drauf' (legt Aluminium - Folie auf die PVC-Folie.)

Je: Ja

Ta: So jetzt die da ran. (Nimmt Glimmlampe und tastet Aluminium - Folie ab, hält dabei die beiden Folien übereinander in der linken Hand. Die Folien knicken ab und berühren den Tisch, der Fehler wird schnell korrigiert. Als die Aluminium - Folie auf die PVC-Folie gelegt wurde, war die PVC-Folie kurzzeitig geerdet.)

Je: Jetzt berührste die ja schon

Ta: Warum geht das denn nich. (Die Glimmlampe glimmt nicht.)

12101

Je: Leg mal hin' das geht besser.

Ta: (Legt PVC-Folie auf ihr Heft, hält sie aber noch mit beiden Händen fest.)

Je: (Reibt die PVC-Folie mit einem Lappen.) Jetzt mal die Hände weg.

Ta: (Nimmt die PVC-Folie mit beiden Händen am Rand haltend hoch.)

Je: Laß liegen.

Ta: Nee. Darf ich ja nich.

Je: (Hält die Aluminium - Folie hoch.) Ok. jetzt darf ich nich bei dir rankommen. Uä und ich darfs nich loslassen. Ich darfs nämlich auch nich anfassen.(Aluminium - Folie berührt kurz die PVC-Folie, je wirft die Alumi-

nium - Folie auf die PVC-Folie.) ... so ... (Tastet Aluminium - Folie mit Glimmlampe ab.) ... dann gehts ... (Glimmlampe leuchtet)

Ta: Aha (Erstaunt)

Je: Du stellst ne Art Blitzableiter zur Erde her.

Ta: Ach so ... also is gut. (schreibt)

Je: (Stellt den Becher auf den Tisch.)

Pe: (Nimmt einen Stift aus der Federmappe und schaut ihn sich an, legt ihn wieder zurück.)

Je: (Nimmt Tischtennisball in die Hand und spielt mit dem Faden.)

(Einige S warten darauf, daß Ta ihr Schreiben beendet)

Je: (Legt Tischtennisball wieder weg.) Das Lineal kann ja nicht leiten'

Ta: Plus (Diktiert sich selbst.)

Je: also äh darum kann das auch nicht den Blitzableiter machen.

Ta: Ja.

Je: Siehste also' ... Moment mal (Nimmt Lineal in die Hand und schaut sich die graphitierte Seite an.) ... stop mal (Nimmt PVC-Folie und reibt sie mit einem Lappen. Legt dazu Lineal aus der Hand. Nimmt Lineal an der Polyester-Seite auf und hält die

12201

graphitierte Seite flach auf die auf dem Tisch liegende PVC-Folie. Streicht mit Glimmlampe über das Graphit. Anscheinend war kein Effekt zu erkennen. Je schaut sich ganz intensiv die Graphitseite des Lineals an.)

L2: (Kommt an den Tisch)

Je: (Legt Glimmlampe weg und nimmt wieder die PVC-Folie in die Hand.)

L2: Was Neues rausgekriegt'

Je: (Zögert kurz) ne (Läßt sich bei seiner Tätigkeit dann nicht weiter stören.)

Je:Ta (Reicht Ta die PVC-Folie hin.) Halt die bitte mal'

Ta:L2 Ne' noch nich allzuviel.(Nimmt die PVC-Folie von Je.)

Je: (Reibt die PVC-Folie mit einem Lappen, während sie von Ta gehalten wird. Legt Graphitseite des Lineals an die PVC- Folie und streicht mit der Glimmlampe über diese Seite. Die Glimmlampe leuchtet.)

Ta: Aha. (schreibt)

Je:L2 Könnte das nach dem Blitzableiterprinzip' funktionieren' ... (schaut zum L2) daß wenn man das Metall jetzt also berührt auf die Folie legt' dann geht ja der Strom ... gleich weg. ... und wir haben uns jetzt ausgedacht' wenn keiner das Metall berührt' dann geht es (Demonstriert mit den Händen.)

L2: Ihr habt da einen Versuch zu gemacht und die Alufolie so drauffallen lassen.

Je: Ja. Drauffallen lassen.

Ta: (Diktiert sich selbst) Ergebnis äh ...

L2: Bei den beiden Folien habt ihr auch schon was festgestellt'

Je: Die stoßen sich ab.

L2: Die stoßen sich ab. ... Immer'

Ta: Ja (Entschieden)

12301

Je: Ja (Zögernd) ... Oder' ... Moment mal' (Zögert etwas, nimmt dann die Aluminium-Folie und reibt damit die PVC-Folie.) Das könn wir natürlich noch nich ausprobieren.

Ta: Ah warte mal' Du reibst das damit' ich reib das damit. (Nimmt die zweite PVC-Folie und reibt sie mit dem Lappen.)

Je: Funktioniert nich allzu gut.

L2: Ziehen sich an' nö'

Je:L2: Etwas. Ja.

Ta: Ah. Also (Will schreiben)

Je: Sozusagen Plus- und Minuspol. (Nimmt Lappen in die Hand, als wolle er etwas daran feststellen.) Jetzt muß man nur wissen welcher hier was is. (Legt beide PVC-Folien übereinander und reibt die obere mit dem Lappen.)

Ta:Je: Duuu (Schreckt auf, als hätte sie plötzlich eine wichtige Idee.) ... Warte mal' paß mal auf. (Nimmt die eine Folie von der anderen herunter. Die Folien kleben aufeinander.) Wart mal ... uh ... die Folie damit. (Zeigt auf die Aluminium-Folie.)
Ta:Pe: Du mußt jetzt mal die Glühlampe halten' Glimmlampe. ... dahin ungefähr' (Zeigt auf eine Stelle etwa 30 cm über der Mitte des Tisches.)

Pe: (Nimmt die Glimmlampe in die Hand und hält sie nach Ta's Anweisung.)

Je:Ta: Ich kann die Folie reiben'

Ta:Je: Die Folie mit dem Lappe' und die andere mit dem Metall. (Reibt die PVC-Folie mit der Aluminium-Folie.)

Je: (Reibt die PVC-Folie mit dem Lappen) Halt die mal so (Gibt Pe die Glimmlampe anders in die Hand.) Halt an der einen Seite ans Metall rann ne unten ?...?

Ta:Pe: Nein aber so. So. Senkrecht. (Demonstriert mit der linken Hand einen Pinzettengriff.) ...
Ta:Je: Du von oben' ich von unten.

Je: (Hält die PVC-Folie von unten an die von Pe senkrecht am Glas gehaltene Glimmlampe.)

12401

Ta: (Will zunächst die PVC-Folie von unten an die senkrecht am Glas gehaltene Glimmlampe halten, nimmt dann aber die Oberseite.) Na gut. Dann so rum.

Je: Ham beide' ... Noch mal.
(Je hat den Effekt nicht wahrgenommen. Der Versuch wird wiederholt.)
Je: ?...? wohl beide glimmen.
Je: Ja gut. (Je hat wahrgenommen, daß beide Glimmfäden der Glimmlampe geleuchtet haben.)

12410

3.2 Das Verlaufsprotokoll

Um den Ablauf verständlich zu machen, wird in der nächsten Ebene der Auswertung ein Verlaufsprotokoll erstellt. Dieses Verlaufsprotokoll enthält eine Einteilung der Handlung einer Doppelstunde in Handlungsphasen und eine Interpretation der Interaktion. Beide Schüler werden getrennt dargestellt.

Beginn und Ende einer Handlungsphase gehen aus dem Text hervor. Die Handlungsphasen werden von den Schülern (Äußerungen) oder von außen, etwa durch den Gong oder durch Lehreräußerungen festgelegt.

Die Interaktion wird lückenlos dargestellt, so daß für den Beobachter und den Leser ein logischer Ablauf entsteht. Dazu müssen Wortlaut und Paralinguistik verbunden werden (Anwendung der Kasusgrammatik), s.S. 58).

In diesem Auswertungsschritt werden die Handlungsabschnitte ebenfalls bezüglich ihrer Relevanz für die Entwicklungsgeschichte der Ideen der einzelnen Schüler zusammengefaßt. Aus diesen Zusammenfassungen werden, in Verbindung mit allen anderen Ebenen, größere Entwicklungszusammenhänge deutlich. Durch die Angabe der entsprechenden Zeilennummer wird ein Zusammenhang zu allen Auswertungsschritten ermöglicht.

Als Beispiel folgt wiederum die Bearbeitung der 2. Handlungsphase der 1. Doppelstunde. Zunächst das Verlaufsprotokoll und die Zusammenfassungen für Tanja. Berücksichtigt werden ebenfalls die Ideen Dritter, soweit eine Orientierung Tanja's bzw. Jens's zu vermuten ist.

Tanja:

(11118-11124) Je erklärt, daß Kunststoff untersucht wird, weil die Arbeitsgruppe festgestellt habe, daß der elektrische Effekt bei Kunststoffen eintrete.

(11125) L1 klärt, daß die graphitierte Seite des Lineals leitet.

(11126) Beim Begriffsnamen "Leiter" assoziiert Ta "leitet weg" als Begründung dafür, daß der Effekt an der beschichteten Seite des Lineals nicht auftritt.

(11130) Zur Bestätigung der Hypothese führt Ta einen Versuch mit dem beschichteten Lineal durch. Der Versuch endet gemäß ihrer Erwartung (Wird nicht wiederholt).

(11205) Ta formuliert das Ergebnis "ah das leitet den Strom weg" und schreibt es auf. Das Aufschreiben der Gegenstandsnamen wird durch das Anfassen der Gegenstände begleitet.

(11213) Eine genauere Begriffsbestimmung wird angedeutet, kann aber nicht verfolgt werden.

Zusammenfassung (11118-11205)

Vom L1 wird der Begriffsname "Leiter" angeboten. Für Ta ist der Name Auslöser für die Assoziation "Strom wird weggeleitet". Damit hat sie zum ersten Mal ein über den Materialaspekt hinausgehendes Kriterium zur Einordnung der untersuchten Gegenstände. Sie bringt die Erfahrung "klappt/klappt nicht" mit der Information seitens des L1 "Nichtleiter/Leiter" in Zusammenhang, wobei nur der Leiter explizit untersucht und genannt wird. Die Negation von "bei Leitern klappt der Effekt nicht" wird nicht formuliert und nicht überprüft. (Ta11205) zeigt, daß bei Ta zu Strom keine über die genannten Muster hinausgehenden aktiviert werden. Z.B. wird der Strom weggeleitet, aber nirgendwo hin. Ta spricht von Strom, obwohl kein Stromkreis vorhanden ist. Außerdem gibt sie dem Leiter eine aktive Rolle. Er macht etwas mit dem Strom und gibt nicht etwa nur die Möglichkeit dazu, daß der Strom entsteht. Ta hat nach der Formulierung dieser Idee kein weiteres Handlungsziel in gleicher Richtung. Sie läßt sich sofort auf eine neue Gruppe von Versuchen ein, als Je dies vorschlägt. Daraus ist zu vermuten, daß sie einerseits kein weitreichendes Muster zur Organisierung weiterer Handlungen in diesem Bereich aktivieren kann, sie aber auch kein Interesse hat, ihr bestehendes Netzt von Mustern abzusichern oder auszubauen.

(11216) Je möchte das Phänomen der Anziehung untersuchen.

Ta's Reaktion macht deutlich, daß sie entweder ebenfalls mit dieser Art von Versuchen beginnen wollte oder es zumindest begrüßt, so zu verfahren. Sie unterbricht ihre Schreibtätigkeit, um den Anfang der Versuche nicht zu verpassen.

(11225) Ta setzt sich gegen Je bei der Bestimmung des Versuchsablaufs durch. Im Folgenden werden verschiedene Materialien ausprobiert.

(11302) Ta ist sehr überrascht, daß der graphitierte Tischtennisball angezogen wird,sie sieht in dem Ball zunächst keinen Tischtennisball. Die graue Farbe läßt sie eine große Masse erwarten. Vorher bereits formulierte Gedanken über Graphitbeschichtung und elektrischen Effekt ("das leitet den Strom weg") werden nicht in die neuen Überlegungen einbezogen.

Ta's Handlung wird von der Konkurrenzsituation zu Je beeiflußt. Ta ist verärgert, daß Je Ergebnisse von Versuchen einbringen will, die er gemacht hat, während sie Protokoll geschrieben hat. Sie besteht deshalb unabhängig vom Ausgang dieser Versuche darauf, das Experiment nach ihren Vorstellungen durchzuführen.

Je wird durch die Zweifel an seiner Kompetenz unsicher.

Je gibt Anweisung zur Durchführung eines Anziehungsversuchs mit dem Tischtennisball.

(11322) Ta führt Je's Anweisung durch. Ta schreibt, und Je fährt mit der Durchführung der Versuche fort. Diese Situation hat zwei Auswirkungen auf Ta's Verhalten.

(11414) 1. Ta wird ärgerlich und drückt diesen Ärger auch aus, 2. zweifelt sie die von Je präsentierten Versuchsergebnisse an und will die Versuche selbst wiederholen oder noch einmal vorgeführt bekommen.

(11416) Je formuliert eine Hypothese über das Verhalten von Leitern und Nichtleitern.

L1 gibt die Anregung, die Versuche mit zwei PVC-Folien durchzuführen. Je greift diesen Vorschlag auf.

Ta nimmt Je die PVC-Folien aus der Hand, um einen eigenen Versuch zu verwirklichen. Da kein Effekt zu erkennen ist, fragt Ta nach einer Erklärung dafür. Es folgt eine lange Schreibphase.

(11512-11531) Je fährt fort, Versuche durchzuführen.

(11601-11615) Ta ist verärgert. Sie fordert Je zur Rückkehr zur Gruppenarbeit auf.

Dadurch, daß Ta Teile des Textes vorliest, demonstriert Ta ihren Beitrag zur Gruppenarbeit und daß ihr der Abstand zwischen gerade von ihr geschriebenem Text und Je's Handlung beträchtlich vorkommt.

(11623) Je hilft bei der Formulierung. Ta schreibt Je's Formulierung auf.

(11623-11702) Ta's Intervention bewirkt, daß am Tisch zunächst, während sie schreibt, keine weiteren Aktivitäten stattfinden.

Zusammenfassung (11225-11702):

Dieser Abschnitt ist gekennzeichnet durch Ausprobieren des Materials, unterbrochen durch lange Schreibphasen. Es wird kein weiterführendes Handlungsziel Ta's erkennbar, außer, Je zu kritisieren. Ta stellt keinen Zusammenhang her zwischen der neuen Versuchsreihe und den vergangenen. Ta kann offensichtlich keinen konzeptuellen Zusammenhang zwischen dem Leuchten der Glimmlampe und der Kraftwirkung geladener Gegenstände herstellen, wie an der unterschiedlichen Behandlung von Metallen in beiden Versuchsgruppen deutlich wird (Ta11302 und Ta11205). Der überlagerte soziale Konflikt mit Je hat großen Einfluß auf Ta's Handlung. Durch Je's Vorgehen wird Ta dazu veranlaßt, immer wieder vom gerade geschriebenen Text aufzuschauen, Je zurechtzuweisen und eine Textstelle vorzulesen. Ta wird durch das Verhalten Je's offen-

sichtlich unter Druck gesetzt, was dazu führt, daß sie die von Je formulierte Hypothese (Je11416) ignoriert.

(11719) Ta möchte Je die PVC-Folien abnehmen, weil sie einen Versuch durchführen möchte.

Je führt Ta einen Versuch vor, er weist damit nach, daß sich die aneinander geriebenen Folien nicht beeinflussen.

Ta wiederholt den Versuch von Je. Sie reibt die Folien intensiver als Je. Es ist kein Effekt zu erkennen.

(11802) Heiko vom Nachbartisch hat einen ähnlichen Versuch durchgeführt.

(11813) Ta's Handlung wird von der Beobachtung des Versuchs von Heiko geleitet.

L1 ermuntert die Schüler, den Ausgang des Versuchs zu interpretieren.

(11816) Ta versucht eine Begründung und spricht sehr zaghaft von Energie.

Je reagiert auf die Ermunterung des L1 und geht auf Ta ein. Er spricht von Energie, die bei der Anziehung eine Rolle spielen könnte.

(11820) Ta geht auf Je's Erklärungsversuch ein und nennt sehr unsicher den Begriffsnamen "Wärmeenergie".

Zusammenfassung (11719-11820):

Ta ist sehr unsicher. Der letzte Versuch hat ihre Erklärungshypothese der Effekte durch Klassifizierung der Materialien zunächst nicht bestätigt. Angeregt durch die Frage des L1 und die Reaktion von Je darauf, verläßt sie die gegenständliche Ebene und spricht von Molekülen und Energie. Diese Sätze sind aber weniger als Erklärungsversuche der Phänomene zu werten, als als ein Versuch, die Erwartungen des L1 nach einer Erklärung zu befriedigen. Ta benutzt Begriffsnamen, von denen sie weiß, daß L1 selbst sie besonders gern im Unterricht benutzt. Weder vorher noch hinterher werden die Begriffe Moleküle und Energie von Ta wie im vorliegenden Zusammenhang benutzt.

(11820-11902) Je führt einen Versuch durch, mit dem er nachweisen kann, daß der elektrische Effekt auch mit Metallen erzeugt werden kann.

Ta geht auf Je's Versuch ein, betont aber, daß sie selbst ebenfalls noch einen Versuch durchführen möchte.

(11905) Je führt den Versuch (Je11820) erneut durch.

Ta hilft Je. Sie hält die PVC-Folie, die dann von Je mit einer Aluminium-Folie gerieben wird. Ta regt an, den elektrischen Effekt mit der Glimmlampe zu überprüfen.

Es ist kein Effekt zu erkennen.

(11915) Ta veranlaßt, daß der Versuch erneut durchgeführt wird. Die Aluminium-Folie bleibt liegen, der Test mit der Glimmlampe erfolgt an der Aluminium-Folie.

Je verändert die Überprüfung, indem er Pe veranlaßt, von der Unterseite der PVC-Folie mit der Glimmlampe zu testen. Erneut ist kein Leuchten zu erkennen. Die Aluminium-Folie klebt allerdings an der PVC-Folie.

(11930) Ta bezeichnet Kleben der Folien als Indikator für elektrischen Effekt.

Zusammenfassung (11820-11931)

Ta wendet ihr Wissen über die Glimmlampe als Indikator für eine Elektrisierung an. Sie gerät dadurch in einen Widerspruch, den sie zunächst nicht lösen kann. Auf der einen Seite weist das Kleben der beiden Folien aneinander auf einen elektrischen Effekt hin, andererseits versagt die Glimmlampe als Indikator.

Je macht einen Versuch mit einem Polyester-Becher und einem Tischtennisball.

(12010) Ta geht nicht auf diesen Versuch ein. Sie möchte von Je sehr eindringlich wissen, warum beim Versuch mit PVC-Folie und Aluminium-Folie die Glimmlampe nicht leuchtet. Ta erwartet, daß sie leuchtet. Sie geht davon aus, daß die PVC-Folie nach dem Reiben geladen ist und die Aluminium-Folie die Ladung (Elektrizität) zur Glimmlampe leitet.

(12014) Je vermutet, daß durch das Metall eine Erdverbindung hergestellt wird.

(12017) Ta wiederholt den Versuch und fordert Je auf, bei der Durchführung zu helfen.

(12030) Je benennt noch einmal die Schwachstelle (Erdung).

(12031) Ta wiederholt eindringlich die Frage nach dem Grund für das Ausbleiben des Leuchtens.

(12101) Je macht den Versuch nach seiner Idee korrigiert vor. Die Aluminium-Folie wird auf die geladene PVC-Folie geworfen.

(12113) Die Glimmlampe leuchtet.

(12116) Ta akzeptiert das Ergebnis und schreibt es auf.

(12116-12217) Je baut den Versuch (12101) aus. Ta sieht Je zu und hilft bei der Durchführung.

Zusammenfassung (12009-12217):

Ta kann die Idee (Ta11915) nur beschränkt anwenden. Zwar erkennt sie, daß, wenn die PVC-Folie geladen ist (und davon geht sie sicher aus), diese Ladung auch durch die Aluminium-Folie hindurch zur Glimmlampe gelangen muß. Da sie sich selbst aber nicht in den Versuch einbezieht, erkennt sie nicht, daß die Aluminium-Folie durch ihr eigenes Anfassen geerdet wird, die Ladung leitende Eigenschaft der Aluminium-Folie hier also gerade den Effekt verhindert. Die Erklärung von Je, daß die Ladung wie bei einem Blitzableiter zur Erde abgeleitet wird, scheint von Ta akzeptiert zu werden.

(12227) L2 stellt, ohne Zusammenhang zum Versuch von Ta und Je, eine Frage zum Verhalten zweier geriebener PVC-Folien. Je wiederholt seine Aussage "die stoßen sich ab". Der L2 fragt nach, Je wird unsicher.

(12231) Ta bestätigt die Aussage von Je nach der Nachfrage von L1 sehr sicher.

(12300) Je zögert und beginnt einen neuen Versuch.

(12304) Ohne verbale Kommunikation kann Ta Je's Handlung einordnen. Sie geht darauf ein und verbalisiert den Versuchsablauf. Beide PVC-Folien werden mit unterschiedlichen Materialien gerieben, beide Schüler teilen sich die durchzuführenden Handlungen. Die PVC-Folien ziehen sich etwas an.

(12309) Ta besteht nicht darauf, daß der Versuch wiederholt wird, er ist ihrer Erwartung gemäß ausgegangen. Ta schreibt das Ergebnis des Versuchs auf.

Je formuliert seine Idee (Je11416).

(12314-12405) Nach der Nennung der Begriffsnamen "Plus- und Minuspol" durch Je kann Ta ein neues Handlungsziel entwerfen. Sie hat die Idee, daß die Glimmlampe leuchtet, wenn die beiden unterschiedlich geladenen Folien durch sie verbunden werden und regt die Durchführung des entsprechenden Versuchs an. Sie gibt dabei Anweisungen an Pa und Je, die bei der Versuchsdurchführung helfen.

(12405) Der Effekt ist nicht zu erkennen. Je regt eine Wiederholung des Versuchs an.

(12406-12413) Ta kann das Leuchten der Glimmlampe auch bei dieser Wiederholung nicht erkennen.

(12411) Je sagt, daß beide Seiten der Glimmlampe geleuchtet haben.

(12413) Ta sieht ihre Erwartung bestätigt und schreibt das Ergebnis ins Protokoll.

Zusammenfassung (12227-12413):

Die Begriffsnamen "Plus- und Minuspol" aktivieren bei Ta die Erwartung, daß sich die beiden unterschiedlich geriebenen Folien anziehen. Obwohl sie selbst nichts beobachtet und die Aussage von Je über den Effekt sehr vorsichtig ist ("funktioniert nicht allzu gut", "etwas" ja."), schreibt Ta das Ergebnis sehr sicher ins Protokoll. Nach der Bestätigung dieser Hypothese generiert Ta das Handlungsziel, einen funktionierenden Stromkreis aus zwei Polen und einer sie verbindenden Lampe zu bauen. Ta kann hier (Ta12314) den subjektiven Erfahrungsbereich "Umgang mit elektrischen Stromkreisen" aktivieren. Sie erwartet, daß eine Lampe leuchtet, die zwei unterschiedliche elektrische Pole verbindet.

Jens:

(11200) Ta bestätigt die Hypothese, daß sich bei Leitern kein Effekt zeigt, durch ein Experiment. Sie formuliert: "Ah, das leitet den Strom weg."

Je erweitert Ta's Hypothese auf Kunststoff. Er benutzt dazu einen Begriffsnamen aus der Elektrostatik.

(11206) "Kunststoffsachen nehmen ihn (den Strom) auf. Speichern ihn sozusagen." Den Namen Strom übernimmt Je, ohne ihn auszusprechen, von Ta.

(11123) Den Begriffsnamen "Leiter" benutzt Je synonym für "Metall". Die Handlungsphasen sind jetzt abgeschlossen, in denen festgestellt werden sollte, ob die zur Verfügung stehenden Materialien bei der Glimmlampe ein Leuchten erzeugen konnten. Bis jetzt wurde das Phänomen untersucht, mit welchen Materialien sich bei welcher Behandlung ein Leuchten der Glimmlampe erreichen ließ. Je wendet sich nun, zusammen mit Ta, dem Phänomen Anziehung und Abstoßung zu.

Zusammenfassung (11114-11206):

Je hat jetzt eine Hypothese gebildet, die in der Lage ist, die vergangenen Versuche für ihn befriedigend zu erklären: "Leiter leiten den Strom weg, Kunststoffsachen speichern ihn" -- "Bei Leitern leuchtet die Glimmlampe nicht, bei Kunststoff leuchtet sie". Hintergrund ist die Idee, daß im Leiter der Strom weggeleitet wird und deshalb nicht mit der Glimmlampe nachgewiesen werden kann, während er im Nichtleiter gespeichert wird und deshalb für die Glimmlampe erreichbar ist. Weitergehende Ideen sind bei Je noch nicht vorhanden oder werden nicht aktiviert. So ist u.a. nicht zu erkennen, ob Je Ideen von den Vorgängen im Inneren der Materialien bilden kann. Strom ist etwas, was weggeleitet und gespeichert werden kann, hat also in erster Näherung materiellen Cha-

rakter. Seine Zufriedenheit mit der oben genannten Hypothese zeigt sich darin, daß Je bereit ist, ein neues Phänomen zu untersuchen.

(11215) L1 hat in (L110005-L110018) auch einen Versuch vorgeführt, bei dem etwas angezogen wurde.

(11226, 11300) Je probiert mehrere Materialien aus.

Ta ist erstaunt, daß der mit Graphit besprühte Tischtennisball von der PVC-Folie angezogen wird.

(11308) Je spielt Tischtennis und ist deshalb Fachmann für Tischtennisbälle. Er kann ihn sofort identifizieren (der Tischtennisball ist mit Graphit beschichtet). Je führt den Versuch sehr genau durch (ohne Pendeln), um den Effekt genau beobachten zu können.

(11322, 11326) Trotz der Erklärung des L1 in (L111124) über Graphitbeschichtungen ist Je nicht sicher, ob der Tischtennisball ebenfalls beschichtet ist. Ta regt an, den L1 nach der Beschichtung zu fragen.

Je fragt L1 nach der Beschichtung. Seine Vermutung, daß es sich um einen beschichteten Ball handelt, wird bestätigt.

(11404) Je läßt den Ball in einen Polyester-Becher fallen, der Versuch ist damit abgeschlossen. Der nächste Versuch ist Ausgang einer Hypothesenbildung. Ein Polyester-Lineal und eine PVC-Folie stoßen sich ab.

(11410, 11416) Je formuliert eine Hypothese, mit der die folgenden Handlungen organisiert werden: "Leiter und Nichtleiter ziehen sich an" und "zwei Nichtleiter stoßen sich ab". Je ist immer darum bemüht, die Versuche langsam und sorgfältig durchzuführen.

(11422) L1 regt an, zur Durchführung dieser Versuche eine zweite PVC-Folie zu verwenden.

(11428) Je greift den Vorschlag von L1 auf. Er legt beide PVC-Folien übereinander und reibt die obere. Nachdem die PVC-Folie getrennt sind, ist kein ist kein Effekt zu erkennen.

(11500, 11508) Ta reibt beide PVC-Folie aneinander. Es ist kein Effekt zu erkennen.

Je hat anscheinend erwartet, daß die PVC-Folien sich nicht anziehen. Er begründet das damit, daß sich die Folien nicht aufgeladen haben.

(11512, 11518) Je reibt beide PVC-Folien mit dem selben Lappen, die Folien ziehen sich an. Je probiert danach in schneller Folge unterschiedliche Materialien aus.

Polyester und Aluminium zeigen dabei keinen unterschiedlichen Effekt, die Gegenstände werden jeweils von einer geriebenen PVC-Folie angezogen.

Zusammenfassung (11215-11526):

Anziehen und Abstoßen werden den Materialien als Eigenschaften zugeschrieben. Eine weiterführende Idee über Ladung ist nicht zu erkennen. Auf dieser Grundlage werden verschiedene Materialien ausprobiert. Die Bildung einer Hypothese wird schwierig, da zwei Effekte zu untersuchen sind (Anziehung und Abstoßung), die außerdem durch unterschiedliche Randbedingungen (Material und Art der Behandlung) beeinflußt werden. Die in (11410) formulierte, Handlung leitende Hypothese wird durch den Ausgang der Versuche ständig widerlegt.

Die Konsequenz ist nicht eine Neufassung der Hypothese, sondern, in (Je11508) die Organisierung der Wahrnehmung nach der Hypothese: Wenn die PVC-Folien sich nicht anziehen, haben sie sich nicht aufgeladen.

(11600) Ta erwartet, daß Je keine weitergehenden Versuche durchführt.

Je versenkt einen Tischtennisball in einem geriebenen Polyester-Becher.

Im Verlauf der folgenden Auseinandersetzung mit Ta um Je's eigenständige Versuchsdurchführungen formuliert Je noch einmal:

(11623) Leiter und Nichtleiter ziehen sich an

(11626) und zwei Folien stoßen sich ab.

(11705) Je variiert den Versuch "Leiter-Nichtleiter" zu "zwei Leiter". Es ist kein Effekt zu beobachten.

(11716) Ta liest vor, was sie gerade geschrieben hat: "Zwei Folien ziehen sich an"

Je widerspricht energisch. Ta beharrt auf ihrer Aussage und will Je einen Versuch zeigen.

(11720) Je reibt zwei PVC-Folien aneinander und zeigt, daß sie sich nicht anziehen.

(11800) Ta wiederholt den Versuch mit der Hoffnung, daß er so ausgeht, wie sie erwartet.

(11803) Je bekräftigt noch einmal seine Erwartung sehr sicher gegenüber Ta, wird aber unsicher ("dürfte nicht") als er merkt, daß L1 zuhört.

Zusammenfassung (11600-11805):

In dieser Sequenz ist deutlich zu erkennen, wie Je's Wahrnehmung von seiner Erwartung beeinflußt wird. Er wiederholt seine Ideen (Je11623) und (Je11626) sehr sicher.

Die Nichtabstoßung der beiden PVC-Folien interpretiert er entsprechend seiner Wahrnehmung in (Je11721) um:"Die laden sich nicht auf". In (Je11804) wird deutlich, wie der Lehrer die Erwartung von Je beeinflußt. Je schränkt seine Aussage durch "dürfte nicht" ein, sobald er merkt, daß der L1 zuhört.

(11811) Im Gespräch mit L1 wird Je wieder sicherer. Er gibt zu erkennen, daß er etwas über die Hintergründe des zuletzt aufgetretenen Effekts sagen kann.

L1 greift Je's Bemerkung auf und fragt ihn, ob er eine Theorie bezüglich der beobachteten Phänomene habe.

Ta kommt Je zuvor und nennt den Begriffsnamen "Energie".

Je versucht nun keine eigene Erklärung, er geht auf den Begriffsnamen "Energie" ein. Es ist nicht zu erkennen, was er unter Energie versteht, nur, daß sie nicht an sich im Körper (PVC-Folie) vorhanden ist, sondern hineingebracht werden muß.

(11817) Bezug nehmend auf das Reiben, argumentiert Ta mit "Wärmeenergie", ist aber sehr unsicher.

Je geht nicht auf Ta ein, er entwickelt auch keine eigene Erklärung, wie in (10814) angekündigt. Je führt die Versuche fort.

Zusammenfassung (11811-11819):

Je ist noch nicht in der Lage, Begründungen für die Effekte zu formulieren. Seine Ankündigung ist eine Mischung aus Erwartungen von Je an L1 (Lehrer wollen immer Begründungen) und Wahrung seiner Identität als guter Physikschüler. Je nimmt Ta's Theorieangebot an, um L1 zufrieden zu stellen. Seine Tätigkeit wird durch die Intervention des L1 kaum unterbrochen. Je knüpft in (11819) wieder da an, wo er in (11801) aufgehört hat.

(11819, 11824, 11825, 11829) Je reibt eine PVC-Folie mit einer Aluminium-Folie. Er erwartet, daß die PVC-Folie aufgeladen wird und wiederholt den Versuch deshalb, als beim ersten Mal kein Effekt zu beobachten ist.

(11924) Beim zweiten Mal benutzt Je den Tischtennisball als Nachweisgerät für den geladenen Zustand der PVC-Folie, also auch als Nachweis dafür, daß sich die PVC-Folie mit einem Leiter (Aluminium-Folie) aufladen läßt.

Das Kleben der Aluminium-Folie an der PVC-Folie wird nicht als Indiz für den Ladungszustand der PVC-Folie betrachtet.

(11915) Ta initiiert einen neuen Versuch. Sie möchte den Ladungszustand mit der Glimmlampe überprüfen, wenn beide Folien noch aneinander kleben.

Je beteiligt sich an den folgenden Versuchen von (Ta11929). Ta beginnt zu schreiben.

Zusammenfassung (11819-11929):

Je erkundet immer noch Materialeigenschaften. Die PVC-Folie als Träger von Ladungen soll mit unterschiedlichen Materialien geladen werden. Als Nachweisgerät benutzt Je das Polyester-Lineal und den Tischtennisball. Geleitet wird diese Handlung (Nachweis) von (Je11623) und (Je11626). Die Aluminium-Folie selbst läßt Je nicht als Nachweisinstrument zu, obwohl sie eindeutig an der PVC-Folie haftet. In diesem Versuch hat die Aluminium-Folie nur die Funktion, Ladung auf der PVC-Folie zu erzeugen, und nicht die Funktion, diese Ladung auch nachzuweisen (weil dies keine vom Versuch unabhängige Instanz zur Ladungskontrolle ist). Versuch und Ladungsnachweis werden getrennt betrachtet. Von (Je11919) an führt Je nur noch Handlungen aus, die von Ta initiiert werden.

(12001) Ta schreibt Protokoll.

Je führt einen neuen Versuch durch, der mit den gerade von Ta durchgeführten nichts zu tun hat. Es ist möglich, daß er damit eine weitere Auseinandersetzung mit Ta vermeiden möchte. Ein Tischtennisball wird von einem geriebenen Polyester-Becher angezogen.

(12009) Ta besteht auf der Klärung des Problems, daß die Glimmlampe bei der Überprüfung der Ladung nicht getrennter PVC-Folie und Aluminium-Folie nicht geleuchtet hat.

Je erklärt, daß die PVC-Folie nicht geladen sein kann.

(12016) Ta wiederholt den Versuch mit Polyester- und Aluminium-Folie. Die Glimmlampe leuchtet nicht.

(12101) Je hilft Ta bei der Durchführung des Versuchs, schließt aber gleich eine neue Variante an, die (Je12016) berücksichtigt. Die PVC-Folie wird mit einem Lappen gerieben, die Aluminium-Folie auf die PVC-Folie geworfen, um zu verhindern, daß die Ladung zur Erde abgeleitet wird. Die Glimmlampe wird an die Aluminium-Folie gehalten und leuchtet.

(12116) (Je12016) wird dadurch gefestigt und sehr sicher wiederholt.

Zusammenfassung (12009-12116):

Je formuliert eine Idee und organisiert damit seine nächst folgende Handlung. Dabei geht das ursprüngliche Ziel des Versuchs,"eine PVC-Folie wird mit einer Aluminium-Folie gerieben und die Ladung auf der PVC-Folie untersucht", verloren. Entsprechend

Je's Idee darf nicht mit der Aluminium-Folie gerieben werden, weil diese die Ladung wie ein Blitzableiter zur Erde ableitet. Dadurch, daß Je die Aluminium-Folie auf die PVC-Folie wirft, verhindert Je diese Verbindung. Die Glimmlampe leuchtet, und die Idee ist bestätigt. Das ursprüngliche Ziel, die PVC-Folie mit der Aluminium-Folie aufzuladen, bzw. Ta's Ziel, diese Ladung dann mit der Glimmlampe und nicht, wie Je vorhatte, mit dem Tischtennisball nachzuweisen, wird nicht mehr verfolgt.

(12122) Je formuliert Je12016 um in Je12122 und wendet die Umkehrung an. Das Polyester-Lineal ist an einer Seite mit Graphit beschichtet. Je benutzt die nicht beschichtete Seite als Griff, der nach JS13 nicht in der Lage ist, Ladung zur Erde abzuleiten, und hält die mit Graphit beschichtete Seite auf einer geladenen PVC-Folie fest.

(12203) Die Glimmlampe leuchtet nicht.

(12207) L2 kommt zum Tisch.

(12212) Je wiederholt den Versuch. Er fordert Ta zur Mithilfe auf.

Ta hilft. Die Glimmlampe leuchtet.

(12217) Je möchte sich seine Idee von L2 bestätigen lassen und formuliert deshalb noch einmal (Je1216). L2 geht nicht auf Je's Idee ein.

Zusammenfassung (12123-12227):

Je kann seine Aussage, daß Leiter die Ladung zur Erde ableiten, für Nichtleiter umformulieren (Je12121, "das Lineal kann ja nich leiten ...") und seine Handlung damit organisieren. Er führt so Ta's Versuch (Ta11915) fort. Wieder ist deutlich zu erkennen, daß die Erwartung die Handlung organisiert. Das Scheitern des Versuchs im erwarteten Sinn wird nicht hingenommen, sondern unter besseren Bedingungen, unter Mithilfe von Ta, wiederholt. Der nun im Sinne der Erwartung positive Ausgang wird nicht mehr überprüft, sondern als Bestätigung der Idee (Je12016) und (Je12122) aufgefaßt.

(12227) L2 fragt nach dem Verhalten zweier geladener PVC-Folien.

(12228) Je formuliert erneut (Je11417). L2 fragt nach. Je wird unsicher.

(12301) Je knüpft an den Versuch (Je11819) an (Eine PVC-Folie wird mit einer Aluminium-Folie gerieben). Die Idee, daß man die PVC-Folie mit unterschiedlichen Gegenständen aktivieren kann, wird von Jens nicht formuliert.

(12303, 12307) Ohne daß Je seine Idee formuliert hat, erkennt Ta die neue Handlung leitende Idee von Je und reibt die andere PVC-Folie mit einem Lappen. Die PVC-Folie

ziehen sich an, aber Je ist nicht sehr vom Effekt überzeugt, er hat ihn schon deutlicher gesehen. Dennoch erkennt er den Ausgang des Versuchs als Bestätigung seiner Idee an.

(12309) Je bezeichnet beide PVC-Folie neu als Plus- und Minus-Pol und formuliert ein neues Handlungsziel.

(12312) Er möchte herausfinden, wie man die beiden Pole unterscheiden kann.

Zusammenfassung (12227-12310):

Angeregt durch die Versuche, die Je in der Zwischenzeit durchgeführt hat (Je11819, Je12125) und dadurch, daß der L2 ganz vorsichtig eine skeptische Bemerkung zu (Je11417) macht, gelingt es Je zu erkennen, daß sich die Ladung auf den Materialien durch unterschiedliche Behandlung unterschiedlich herstellen läßt. Er abstrahiert von den konkreten Materialien (PVC-Folien) und entwickelt aus (Je11416) und (Je11417) die Idee der unterschiedlichen Pole. Das neue Handlungsziel, das Je in (Je12314) formuliert, herauszufinden, auf welcher Folie sich welcher Pol befindet, generiert eine Serie neuer Versuche.

(12314) Ta initiiert einen neuen Versuch, um die Polarität zu erkunden. Zwei unterschiedlich geriebene PVC-Folien werden gegeneinander über eine Glimmlampe entladen. Je geht, ohne Erklärung des Versuchs durch Ta, sofort auf den Versuch ein und hilft bei der Durchführung. Je versteht ohne verbale Kommunikation, welches Ziel Ta verfolgt (12324) und gibt Pe Anweisungen.

(12404) Je erwartet, daß beide Seiten der Glimmlampe aufleuchten. Da der erwartete Effekt nicht zu erkennen ist, läßt Je den Versuch wiederholen.

(12410) Beide Seiten der Glimmlampe leuchten.

Je initiiert nun eine Variante des Versuchs, bei der beide PVC-Folie mit dem selben Lappen gerieben werden.

(12412) Diesmal erwartet Je, daß nur eine Seite der Glimmlampe aufleuchtet. Es ist zu erkennen, daß beide Seiten der Glimmlampe aufleuchten. Um die Idee nicht aufgeben zu müssen,

(12422) bezweifelt Je die Eignung der Glimmlampe als Nachweisgerät für die Polarität der Folien: "Das müßte man mit ner richtigen Glühlampe ausprobieren" und

(12425) "die leuchtet ja immer ob nun vorwärts oder rückwärts".

Zusammenfassung (12314-12426)

Zunächst meint Je, die Glimmlampe sei ein geeignetes Gerät, die Polarität der PVC-Folie zu messen. Vielleicht hat er schon beobachtet, daß die Glimmlampe geteilte Fäden

enthält oder daß nur eine Seite aufleuchtet, wenn Gegenstände darüber entladen werden. Bei diesem Versuch ist die Potentialdifferenz offensichtlich so groß, daß ein Entladungsblitz in der ganzen Glimmlampe stattfindet. Die eigentlich angemessene Idee von Je kann so nicht verifiziert werden. Je lehnt die Glimmlampe als Nachweisgerät für die Polarität seiner Folien ab. Die Durchführung dieser Versuche bestätigt, daß Je nun von unterschiedlicher Ladbarkeit der Folien ausgeht. Die Art, wie die Entladung durchgeführt wird, läßt vermuten, daß Je Ladung als ein verschiebbares Fluidum auffaßt.

3.3 Das Ideenprofil

Parallel zum Verlaufsprotokoll wird ein Profil von Ideen der zwei Schüler erstellt. Dieses Profil enthält die Kriterien des Beobachter bezüglich der Möglichkeit, vom Verhalten auf die ihnen zugrundeliegenden kognitiven Prozesse zu schließen.

Die Ideen werden folgendermaßen klassifiziert:

i	:Idee, Orientierung erkennbar, initiiert Handlung, verbal.
I	:Idee, Orientierung nicht erkennbar, initiiert Handlung, verbal.
s	:Schlußfolgerung, Orientierung erkennbar, verbal.
S	:Schlußfolgerung, Orientierung nicht erkennbar, verbal.
in	:Idee, Orientierung erkennbar, initiiert Handlung, nicht verbal.
In	:Idee, Orientierung nicht erkennbar, initiiert Handlung, nicht :verbal.
sn	:Schlußfolgerung, Orientierung erkennbar, nicht verbal.
Sn	:Schlußfolgerung, Orientierung nicht erkennbar, nicht verbal.
h	:Hypothese, Orientierung nicht erkennbar, verbal.
hn	:Hypothese, Orientierung nicht erkennbar, nicht verbal.

Die Klassifizierung der Ideen nach den Merkmalen "i", "I", "in", "In" usw. dient der Strukturierung der Interaktionen und der Beurteilung der Sicherheit der Erwartung bzw. Wahrnehmung (s.S. 28 ff). 1Jin bedeutet: Die folgende Idee ist in der 1. Unterrichtsstunde (1), von Jens (J), von außen (Lehrer andere Schüler) orientiert (das i ist als kleiner Buchstabe notiert), nicht verbal geäußert worden (n) und hat die folgende Handlung strukturiert (i). Bei der Formulierung der einzelnen Ideen wurden die genannten Elemente der "Kasusgrammatik" nach FILLMORE benutzt (s.S.58 ff).

Die Ideenprofile sind die Basis der weiteren Analyse:

1. Für ausgewählte Inhalte (etwa Spannung) ist es möglich, einen schnellen Überblick über die Entwicklung der Bedeutungszuweisung zu erstellen.

2. Einen Hinweis auf die Herkunft der Ideen gibt die Einteilung der Ideenkategorien in "verbal" und "nicht verbal".

3. Durch die Einteilung in "Orientierung erkennbar" und "Orientierung nicht erkennbar" ist es möglich, den Grad der Orientierung der Schüler (etwa durch den Lehrer) genauer zu betrachten.

4. Die Einteilung "initiiert Handlung" und "Schlußfolgerung" läßt eine Betrachtung der Daten bezüglich der orientierenden Wirkung der Ideen des jeweils betrachteten Schülers beim Schüler selbst zu.

5. Die Einteilung "Hypothese", "Idee" und "Schlußfolgerung" läßt eine Beurteilung unterschiedlicher Sicherheit bei der Äußerung zu (Einbindung in die Konstruktion des Schülers).

6. Durch eine weitere Bearbeitung der Ideen nach POWER'S Hierarchie der Wahrnehmung (s.S. 30) wird in einem letzten Schritt der Bearbeitung die kognitive Struktur konstruiert, die der Handlung unterstellt wird. Diese Konstruktion geschieht unter Berücksichtigung der Grundsätze der Kasusgrammatik (s.S. 58).

Die Ideen von Tanja und Jens aus der 2. Handlungsphase der 1. Doppelstunde:

Tanja:

11312	:1Tin	:Die schwarze Kugel ist ein Tischtennisball.
11322	:1TS	:Wird eine PVC-Folie mit einem Lappen gerieben, zieht sie einen :Tischtennisball an.
11329	:1Thn	:Die Schicht auf dem Tischtennisball ist aus Graphit.
11719	:1Ti	:Werden zwei PVC-Folien aneinander gerieben, ziehen sie sich :an.
11813	:1TS	:Werden zwei PVC-Folien aneinander gerieben, stoßen sie sich ab.
11816	:1Th	:Die Folien stoßen sich ab, weil sich die Energien in den Folien :abstoßen.

11819 :1Th :Von außen wird der PVC-Folie Wärmeenergie zugeführt.

11915 :1TIn :Die Glimmlampe leuchtet auch, wenn zwischen Glimmlampe und :geriebener PVC-Folie eine Aluminium-Folie liegt.

12010 :1TI :Metall leitet.

12017 :1Tin :Der elektrische Effekt bleibt aus, wenn die PVC-Folie geerdet wird.

12018 :1TIn :Läßt man eine Aluminium-Folie auf eine geriebene PVC-Folie fallen, :kann der Effekt erzielt werden, wenn die Aluminium-Folie mit der :Glimmlampe berührt wird.

12018 :1TIn :Die Aluminium-Folie leitet Elektrizität (Strom, das den Effekt :hervorrufende Objekt).

12107 :1TS :Der elektrische Effekt bleibt aus, wenn die PVC-Folie geerdet wird.

12304 :1TI :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien gerieben, :ziehen sie sich an.

12309 :1TI :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien gerieben, :ziehen sie sich an.

12314 :1Th :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien :gerieben, leuchten beide Seiten der Glimmlampe, wenn die Folien :durch die Glimmlampe miteinander verbunden werden.

12413 :1Ts :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien :gerieben, leuchten beide Seiten der Glimmlampe, wenn die Folien :durch die Glimmlampe miteinander verbunden werden.

Jens:

11226 :1Jin :Geriebene Gegenstände ziehen sich an.

11300 :1JIn :Elektrisierte Gegenstände ziehen sich an.

11322 :1Jhn :Es hat Einfluß auf den Effekt, welche Gegenstände gerieben werden.

11326 :1JS :Der Tischtennisball ist mit Graphit beschichtet.

11416 :1JS :Leiter und Nichtleiter ziehen sich an.
:1JS :Zwei Leiter stoßen sich ab.

11720 :1JS :PVC-Folie ziehen sich nicht an, wenn sie aneinander gerieben :wurden.
:1JS :Werden Folien aneinander gerieben, findet keine Aufladung statt.

11813 :1L1 :"Kann nich' Hast du eine Theorie'

11817 :1Js :Wenn Energie beim Effekt eine Rolle spielt, muß sie von außen :zugeführt werden.

11824 :1Jh :Mit einem Leiter kann an einer Folie der Effekt erzielt werden.

11825 :1JIn :Wird ein graphitierter Tischtennisball angezogen, ist der anziehende :Körper geladen.

11829 :1JS :Mit einem Leiter kann an einer Folie der Effekt erzielt werden.

11903 :1JI :Wird eine PVC-Folie mit einer Aluminium-Platte gerieben, darf die :PVC-Folie nicht auf dem Tisch liegen.

11910 :1Jin :Das Kleben der Aluminium-Folie an der PVC-Folie ist kein :Nachweis dafür, daß die Folien geladen sind.

11910 :1Jin :Wird ein graphitierter Tischtennisball angezogen, ist der anziehende :Körper geladen.

11923 :1Jh :Wird eine PVC-Folie mit einer Aluminium-Folie gerieben, ist auch :die nicht geriebene Seite der PVC-Folie geladen.

12001 :1Jhn :Wird ein Polyester-Becher mit einem Tuch gerieben, lädt er sich auf.

12003 :1JIn :Wird ein graphitierter Tischtennisball angezogen, ist der anziehende :Körper geladen.

12006 :1JS :Wird ein graphitierter Tischtennisball an einem Faden in einen :geladenen Polyesterbecher gehalten, läßt er sich nicht in der Mitte :plazieren.

12016 :1JI :Metall stellt wie ein Blitzableiter eine Verbindung zur Erde her.

12122 :1JS :Plastik ist kein Blitzableiter, weil es nicht leitet.

12217 :1Jh :Wird eine geladene PVC-Folie über einen metallenen Gegenstand mit :einer Glimmlampe berührt, wird der Strom über das Metall :weggeleitet.

12307 :1Jhn :Werden Folien mit unterschiedlichen Gegenständen gerieben, laden :sie sich unterschiedlich auf.

12309 :1JS :Zwei geladene PVC-Folien, die sich anziehen, bilden einen Plus- :bzw. Minuspol.

Alle Ebenen der Auswertung erfordern die Möglichkeit, ständig auf alle anderen Ebenen und auch auf das Videoband zurückgreifen zu können. Die genannten Schwierigkeiten durch die sich im Laufe der Untersuchung ändernde Konstruktionskompetenz des Beobachters (s.S 60) werden durch diese Möglichkeit entscheidend verringert. Da die Interpretation des Ton- und Verlaufsprotokolls erst nach Abschluß der Erstellung aller Ebenen erfolgt, ermöglicht die Rückgriffmöglichkeit zu jedem Zeitpunkt der Analyse in Teilen eine Neukonstruktion aller Ebenen mit größtmöglicher Konstruktionskompetenz des Beobachters.

Um den Rückgriff zu gewährleisten, wurde ein Computer eingesetzt. Mit einer Kontrolleinheit und entsprechender Software (Audio/Video; 1988) ist es möglich, von jeder Ebene der Auswertung das entsprechende Videoband an der fraglichen Stelle anzusteuern. Ein Vergleich aller Ebenen außer dem Videoband ist allein mit einem PC (ohne Kontrolleinheit) und einem Textverarbeitungsprogramm (Word 4) möglich.

Während dieser Untersuchung wurde eine solche Analysemethode eingerichtet. Da sich die Beschaffung der Kontrolleinheit aus vom Hersteller zu vertretenden Gründen verzögerte, konnten nur noch die ersten zwei Doppelstunden umfassend, mit Rückgriff auf das Videoband, zur Analyse eingerichtet werden. Die Auswertung aller anderen Stunden erfolgte nur durch computergestützten Vergleich der Texte. Ein Rückgriff auf die Tonprotokolle ist durch die Numerierung der Zeilen möglich, die durch alle Ebenen aufrecht erhalten wird.

3.4 Die Konstruktion der Wahrnehmungsebenen

Ich gehe von der Annahme aus, daß im Verhalten der Schüler Bereiche aufgebaut werden, die ich subjektive Erfahrungsbereiche nenne (s.S. 24). Diesen Bereichen wird eine Feinstruktur unterstellt, die mit der Systematik beschrieben werden kann, wie sie von POWERS entwickelt wurde (s.S. 30).

Es kann vorausgesetzt werden, daß im Unterricht (bei Menschen diesen Alters) die Objektdifferenzierung so weit fortgeschritten ist, daß eine Beobachtung einer Entwicklung auf dieser Ebene (3. Ebene der Wahrnehmung) nicht gemacht werden kann. Auch neu eingeführte Objekte, etwa die Glimmlampe, werden sofort als von anderen Objekten unterschiedlich wahrgenommen. Es werden ihnen ebenfalls bereits am Beginn der Entwicklung Eigenschaften zugeordnet. Die Glimmlampe z.B. wird nicht physikalisch adäquat betrachtet, erhält aber eine Eigenschaft im Kontext der zu organisierenden Handlung, sie ist in der Lage, "Ladung anzuzeigen". Das *Objekt* "Glimmlampe" mit seiner *Eigenschaft* tritt in *Beziehung* zu anderen Objekten und modifiziert diese bzw. wird selbst modifiziert, rekursiv neu geordnet, damit zu einem neuen Objekt, das wiederum neue *Beziehungen* zu anderen Objekten und deren *Eigenschaften* eingehen kann bzw. dazu führt, daß neue Eigenschaften anderer Objekte konstruiert werden können usw.

Die Feinstrukturanalyse wird an dieser Stelle nicht mehr anhand des Beispiels der zweiten Handlungsphase der 1. Doppelstunde erklärt, da sie Bestandteil der nun folgenden Bearbeitung der Ideenprofile ist (s.S. 94 bis 215). Die Feinstrukturanalyse wird für beide Schüler und die beiden ersten Doppelstunden vollständig durchgeführt. Daran an-

schließend wird die Entwicklung des Ladungsbegriffs bis zu seiner komplexesten Struktur durch alle folgenden Doppelstunden für eine Schülerin analysiert.

3.5 Zusammenfassung

Die Bearbeitung der Videoaufnahmen einer Schülergruppe im Unterricht wird in 5 Stufen vorgenommen:

1. Es wird ein Tonprotokoll erstellt.

2. Das Tonprotokoll wird, unter Beachtung der Videoaufnahmen, zu einem Verlaufsprotokoll kondensiert.

3. Abschnitte des Verläufsprotokolls werden zusammengefaßt.

4. Unter Berücksichtigung von Interaktionszusammenhängen und mit den Regeln der FILLMORE'schen Kasusgrammatik wird ein Ideenprofil erarbeitet.

5. Das Ideenprofil wird in eine Feinstruktur untergliedert. Diese Feinstruktur ist die Konstruktion des Beobachters vom jeweils aktivierten und/oder gerade im Entstehen befindlichen subjektiven Erfahrungsbereich einer Schülerin/eines Schülers.

V Die Analyse

1. Einführung

Für die Analyse wird die Liste der Ideen (s.S. 88) fortlaufend und vollständig aufgeführt. Die für die Analyse relevanten Handlungsphasen werden durch einen Kasten gekennzeichnet. Die folgenden Textstellen der Analyse beziehen sich immer auf den vorangegangenen Kasten. Durch die Numerierung der Ideen nach "SchülerIn/Unterrichtsstunde/Seite des Transkripts/Zeile der Seite (z.B. entspricht die Numerierung (Ta10310) der Textstelle Tanja/1. Doppelstunde/3. Seite/10. Zeile) kann der Bezug zum Verlaufsprotokoll und zum Transkript hergestellt werden. In einem Kasten mit fettem Rand stehen Ideen, die im Verlaufe einer Orientierung vom Lehrer zu konstruieren waren. Die nicht eingerahmten Ideen dienen dazu, den Kontext der jeweils interpretierten Handlungsphase deutlich zu machen. Sie werden nicht explizit zur Interpretation herangezogen.

Die Ideen werden nach der Hierarchie von Powers (s.S. 30 ff) strukturiert. Die Bezeichnung der Ebenen (Objekt, Eigenschaft usw.) ist dabei eine Benennung, die ihre inhaltliche Substanz durch die Struktur erhält, die durch die Ebene konstruiert wird.

Es wird unterstellt, daß in dieser Unterrichtseinheit von den beobachteten Schülern mindestens ein subjektiver Erfahrungsbereich neu gebildet wird. Es ist davon auszugehen, daß kein Schüler dieser Klasse umfassende außerunterrichtliche Erfahrungen mit Elektrostatik machen konnte. Bei Jens und Tanja war dies daran zu erkennen, daß sie beide in der Anfangsphase der Unterrichtseinheit sehr intensiv das vom Lehrer zur Verfügung gestellte Material bearbeiteten. Dabei werden an keiner Stelle Wissenselemente deutlich, die auf eine frühere Erfahrung mit dem Material in ähnlichen Situationen hinweisen. Handlungen in für die beiden Schüler neuen Situationen müssen deshalb mit Elementen aus einem bereits vorhandenen subjektiven Erfahrungsbereich organisiert worden sein, der nicht situationsadäquat im Sinne eines physikalischen Konsenses ist.

In unserem Kulturkreis erfahren viele Menschen den "elektrischen Schlag" an Autotüren und Türklinken von Gebäuden nach Aufladung an Kunststoffen (Wahrnehmung 5. Ordnung) Diese im täglichen Leben ständig zu machende Erfahrung ist organisierendes Element der Handlungen beider Schüler in der Anfangsphase. Durch diese Erfahrung wird die "neue" Situation zu einer vertrauten, und die in ihr enthaltene Erwartung ist Organisator der Handlung in der Situation. Die Handlungsstruktur der 1. Doppelstunde macht dies deutlich.

Die Handlungen am Anfang des ersten Blocks werden von dem entliehenen Erfahrungselement - Kunststoff kann einen elektrischen Effekt erzeugen - organisiert. Diese vor dem Unterricht erzeugte Erwartung wird sehr schnell zum organisierenden Element eines neuen subjektiven Erfahrungsbereichs. Die Wahrnehmung der Ereignisse "geht/geht nicht" und ihre Ordnung in Sequenzen ist Ordnungsprinzip der Handlungen in den neuen Situationen (Wahrnehmung 5. Ordnung). Da eine Sequenzierung leicht aus den Ideenprofilen zu erkennen ist, werde ich die Sequenzierung in der Analyse nur dann darlegen, wenn sie eine besondere Rolle im Ablauf der Handlung spielt. Von dieser Wahrnehmungsebene aus sind die Schülerin und der Schüler in der Lage, schon im Laufe der ersten Unterrichtsstunde, ohne Hilfe und Hinweise durch einen Lehrer, immer mehr Organisationsprinzipien zur Organisierung der eigenen Handlung zu entwickeln und einen Wechsel in die nächst höhere Ebene zu vollziehen.

Die beiden ersten Doppelstunden wurden vollständig analysiert. Im weiteren Verlauf der Analyse werden für die restlichen 11 Doppelstunden nur noch Teilaspekte durch die Feinstruktur des Ideenprofils (Die Entwicklung des Objekts "Ladung" bis zur "Spannung") dargestellt.

2. Beispiel für den Aufbau eines subjektiven Erfahrungsbereichs

2.1 1. Doppelstunde/Tanja

2.1.1 Die Handlungsorganisation

Bildung von Objekten als invariante Elemente. Den Objekten werden Eigenschaften zugeordnet.

Ordnung der Materialien nach "geht/geht nicht".

Verallgemeinerung am Ende der Phase:
Mit allen Kunststoffen läßt sich der erwartete Effekt herstellen.

Ordnung der Materialien nach "Agens" und "Patiens".

Ordnung des "Patiens".

Es werden nur PVC-Folien als geeignet akzeptiert.

Ordnung des "Agens".
Alle Materialien werden akzeptiert.

Ordnung der Objekte nach "zieht an/stößt ab".

Lösung vom Material.

Die Verantwortung für den Effekt wird einem verschiebbaren, nicht näher bezeichneten Stoff zugeschrieben.

Plus und Minus werden als Ordnung stiftende Eigenschaften akzeptiert und organisieren die folgenden Handlungen.

2.1.2 Handlungsphase 1

10207	:1Tin	:Mit Plastik kann ein elektrischer Effekt erzielt werden. :Objekt: Plastik :Eigenschaft: kann geladen/elektrifiziert werden
10213	:1Tin	:Die Glimmlampe ist ein Nachweisgerät für Elektrizität. :Objekt 1: Glimmlampe :Objekt 2: Elektrizität :Eigenschaft 1: zeigt Ladung/Elektrizität an :Eigenschaft 2: kann angezeigt werden (besitzt keine Gestalt)
10227	:1TIn	:Das Kleben der Folie an der Unterlage ist Folge der Elektrisierung.
10302	:1TIn	:Die Glimmlampe ist defekt.
10312	:1TIn	:Die Glimmlampe ist nicht defekt.
10405	:1TS	:Wird eine PVC-Folie mit einem Lederlappen gerieben, leuchtet die :Glimmlampe. :Objekt 1: PVC-Folie :Objekt 2: Lederlappen :Objekt 3: Glimmlampe :Eigenschaft 1: kann geladen werden :Eigenschaft 2: kann laden :Eigenschaft 3: zeigt Ladung an :Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
10504	:1TS	:Bei der Glimmlampe leuchtet nur eine Seite, weil sie geteilt ist. :Objekt: Glimmlampe :Eigenschaft: ist geteilt :Ereignis: Beim Entladen einer PVC-Folie leuchtet nur eine Seite der :Glimmlampe.
10510	:1TS	:Der Effekt läßt sich an einer PVC-Folie mit Polyacryl und einem :Topflappen herstellen.
10605	:1TI	:Der Effekt läßt sich an einer PVC-Folie mit einem Trockentuch :herstellen.
10626	:1Tsn	:Wird PVC-Folie mit Kunst- oder Naturfasern gerieben, leuchtet die :Glimmlampe. :Objekt 1: PVC-Folie :Objekt 2: Kunstfaser/Naturfaser :Objekt 3: Glimmlampe

:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann laden
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
:Beziehung: Das Leuchten der Glimmlampe ist Indiz für die
:erfolgreiche Behandlung der PVC-Folie.
:Programm 1: Ladungsnachweis 1

10723 :1L1 :"Was macht ihr ?...? vielleicht könnt ihr ja schon ne Erklärung dazu
:machen"

10724 :1Th :Der Effekt kann erzielt werden, wenn man eine Aluminium-Folie mit
:Lappen 2 reibt.

10718 :1TI :Der Effekt kann erzielt werden, wenn man eine Aluminium-Folie mit
:Lappen 2 reibt.

10815 :1Th :Der Effekt kann erzielt werden, wenn man die graphitierte Seite eines
:Polyester-Lineals mit Lappen 2 reibt.

10902 :1L2 :"Ihr müßt nicht alle Versuche nur mit der Glimmlampe machen nö'"

10915 :1TI :Der Effekt läßt sich an einem Polyester-Lineal mit einem Lederlap-
:pen erzielen.

10920 :1TIn :Je stärker gerieben wird, desto besser ist der elektrische Effekt zu
:erkennen.

10927 :1Th :Werden alle bisher ausprobierten Gegenstände mit einem
:Lederlappen gerieben, leuchtet die Glimmlampe.
:Objekt 1: Gegenstand
:Objekt 2: Lederlappen
:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann laden
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
:(Sequenz) Die Gegenstände werden in die Gruppe der ladbaren
:Gegenstände geordnet.
:Beziehung: Die ladbaren Gegenstände erhalten eine Beziehung
:zueinander durch ihre gemeinsame Eigenschaft. Organisator dieser
:Eigenschaftszuordnung sind die Programme "Ladungsnachweis" und
:"Ladungserzeugung".

11001 :1Ts :Wird ein Polyester-Becher mit einem Lederlappen gerieben, leuchtet
:die Glimmlampe.
:Objekt 1: Polyester-Becher
:Objekt 2: Lederlappen
:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann laden

:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
:Beziehung: Alle Gegenstände aus Plastik können durch Reiben mit
:einem Lederlappen geladen werden.

11021 :1TI :Wird eine Polyester-Tüte mit einem Lederlappen gerieben, leuchtet
:die Glimmlampe.
:Objekt 1: Polyester-Tüte
:Objekt 2: Lederlappen
:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann laden
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
:Beziehung: Alle Gegenstände aus Plastik können durch Reiben mit
:einem Lederlappen geladen werden.
:Programm: Ladungserzeugung 1

11102 :1TI :Die Glimmlampe ist ein Nachweisgerät für Elektrizität.

11110 :1TI :Die Zeitdauer zwischen Reiben und Abtasten des geriebenen Gegen-
:stands hat einen Einfluß auf den Erfolg des Effekts.

11116 :1TS :Mit der Polyester-Tüte kann der Effekt durch Reiben mit sich selbst
:nicht hergestellt werden.
:Objekt: Polyester-Tüte
:Eigenschaft: wirkt nicht auf sich selbst

11126 :1Ti :Graphit leitet den Strom weg.

11205 :TS :Graphit leitet den Strom weg.

Es werden zunächst Eigenschaftsinvarianten gebildet, die sich auf Objekte beziehen. Dies äußert sich darin, daß verschiedene Materialien mit der Erwartung:"Der Effekt läßt sich herstellen (die Glimmlampe leuchtet)" an einer PVC-Folie (Patiens) ausprobiert werden. Die unterschiedlichen Materialien werden durch die Zuordnung zu einer Eigenschaft der Glimmlampe ("leuchtet/leuchtet nicht") eingeteilt. Die Erwartungen sind wenig komplex und organisieren Wahrnehmung und Handlung von der Eigenschaftsebene aus. Diese Phase wird in (Ta10626) durch Jens abgeschlossen:

(Je)
"hm ?...? das geht mit Kunststoffsachen".

Tanja schließt sich der Orientierung durch Jens an und generiert ein Handlungsziel auf der Beziehungsebene. Sie untersucht alle bisher noch nicht überprüften Kunststoffgegenstände mit der Erwartung "der Effekt läßt sich an Kunststoffsachen erzielen". Der in der ersten Phase als geeignet zum Erzielen des Effekts erfahrene Lederlappen ist

Grundlage der neuen Handlungsphase. Durch die diesem Objekt durch Handlung zugewiesene Eigenschaft ("kann den Effekt sicher herstellen") soll eine neue Klasse von Objekten ("alle Objekte, an denen mit dem Lederlappen der Effekt erzielt werden kann") gebildet werden.

In (Ta10802) und (Ta10812) wird noch einmal deutlich, daß die Eigenschaft der Glimmlampe das einzige Kriterium zum Strukturieren der Materialien ist. Eine Aluminium-Folie wird wie eine PVC-Folie behandelt, und der unterschiedliche Erfolg des Reibens der Aluminium-Folie und des graphitierten Polyester-Lineals läßt keinen Widerspruch entstehen. In (Ta10927) erfolgt nun ein Umkehrschluß. Das Polyester-Lineal wird mit einem Lederlappen gerieben, und die Glimmlampe leuchtet. Tanja schließt nun, ohne zu überprüfen, also sehr sicher, daß alle anderen Materialien, die sich als erfolgreiche Patiens erwiesen hatten, auch mit dem Lederlappen erfolgreich behandelt werden können. Diese Erwartung führt dazu, daß ein Ausbleiben des Effekts bei der Polyester-Tüte Zweifel an der operationalen Seite der Versuchsdurchführung aufkommen läßt:

(Ta11110)
"Äh. (Der Lappen fällt aus der Tüte, der Versuch wird deshalb wiederholt. Nach dem Reiben hält Tanja die Tüte in Richtung Pe) Schnell."

Die Systematisierung wird in (Ta11116) zunächst abgeschlossen. Es sind verschiedene Materialien als geeignet und nicht geeignet festgestellt worden. Der Einsatz der Glimmlampe geschieht hier schon nach einem *Programm* "Ladungsnachweis 1", das den Handlungsablauf steuert. Ebenso wird ein *Programm* für die Ladungserzeugung entwickelt. Diese Programme werden in den folgenden Interaktionen zur Organisierung der entsprechenden Handlung eingesetzt. Ich hebe sie nicht mehr hervor, es sei denn, sie werden verändert.

In (L110723) und (L210902) Versuchen Lehrer 1 und Lehrer 2 orientierend in die Handlungen von Tanja und Jens einzugreifen. Lehrer 1 möchte die Invariantenbildung beschleunigen, indem er auf die Möglichkeit hinweist, das bisher Beobachtete zu verallgemeinern, Lehrer 2 weist auf andere Objekte hin, die den Handlungsbereich der Schüler erweitern könnten. Beide Orientierungen werden von Tanja nicht beachtet. Dies hat im wesentlichen drei Gründe:

1. Der Orientierung von Lehrer 1 kann von Tanja keine für die gerade geplante Handlung relevante Bedeutung zugeordnet werden. Tanja organisiert ihr Handeln

durch die Bildung von invarianten Eigenschaften von Objekten, der Lehrer möchte auf höhere Ordnungen orientieren.

2. Lehrer 2 möchte in einer Handlungsphase, die noch nicht zu befriedigender Strukturierung geführt hat, die in dieser Phase strukturstiftende Glimmlampe durch ein anderes Objekt ersetzen. Tanja widerspricht dieser Orientierung, da die Glimmlampe aktives Element in einem Ordnungsvorgang ist, in ihrer Handlung also nicht ersetzt werden kann. Die Glimmlampe ist Träger des Ordnungsprinzips "leuchtet/leuchtet nicht".

3. Zwischen den Planern des Unterrichts wurde ein Konsens bezüglich Handlungsorientierung und Schülerzentrierung des Unterrichts durchgeführt. Eingriffe der Lehrer sollten also immer vorsichtig und nicht restriktiv erfolgen. Da die Schüler einen solchen Physikunterricht schon kannten -der unterrichtende Lehrer, Herr Dudeck, hat eine entsprechende Auffassung vom Unterrichten-, führt die Orientierung der Lehrer nicht dazu, daß die Schüler ihre gerade geplanten Handlungen abbrechen oder unterbrechen, weil der Lehrer dies erzwingt.

2.1.3 Handlungsphase 2

11312 :1Tin :Die schwarze Kugel ist ein Tischtennisball.

11322 :1TS :Wird eine PVC-Folie mit einem Lappen gerieben, zieht sie einen
:Tischtennisball an.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Lappen
:Objekt 3: Tischtennisball
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann laden
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die PVC-Folie zieht den Tischtennisball an.

11329 :1Thn :Die Schicht auf dem Tischtennisball ist aus Graphit.

11719 :1Ti :Werden zwei Polyester-Folien aneinander gerieben, ziehen sie sich
:an.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann geladen werden
:Ereignis: Die PVC-Folien stoßen sich ab
:Diese Erwartung generiert ein Handlungsziel. Der entsprechende
:Versuch wird durchgeführt, das Ereignis entspricht nicht der
:Erwartung.

11813 :1TS :Werden zwei PVC-Folien aneinander gerieben, stoßen sie sich ab.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Eigenschaft 1: verändert Objekt 2
:Eigenschaft 2: verändert Objekt 1
:Ereignis: Die PVC-Folien stoßen sich ab.
:Beziehung: Gleiches stößt sich ab.

11813 :1L :"Kann nich' Hast du eine Theorie'"

11816 :1Th :Die Folien stoßen sich ab, weil sich die Energien in den Folien
:abstoßen.

11819 :1Th :Von außen wird der PVC-Folie Wärmeenergie zugeführt.

Diese Ideen sind Reaktion auf die Anforderung des Lehrers, über die eigene Handlung eine Aussage mit System- oder Theoriecharakter zu äußern. Diese Aussage ist von der Erwartung organisiert, daß dieser Lehrer mit dem Begriffsnamen "Energie" zufriedenzustellen ist. Die Reaktion des Lehrers bestätigt diese Einschätzung.

11915 :1TIn :Die Glimmlampe leuchtet auch, wenn zwischen Glimmlampe und
:geriebener PVC-Folie eine Aluminium-Folie liegt.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Aluminium-Folie
:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: leitet
:Eigenschaft 2: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

12010 :1TI :Metall leitet.

Wie in Handlungsphase 1 werden Eigenschaftsinvarianten gebildet, die sich auf Objekte beziehen. Ordnendes Ereignis ist die anziehende bzw. abstoßende Wirkung der geladenen Gegenstände aufeinander. Die Wirkung wird als Indikator für Ladung/Elektrizität verstanden, wobei die Bedeutung von Ladung/Elektrizität sehr in der Nähe des Ereignisses liegt (etwa: der Effekt läßt sich herstellen). Eine Invariante bezüglich der Ursachen des Effekts ist also noch nicht gebildet. Die Begriffsnamen "Strom", "Ladung" oder "Elektrizität" werden nicht genannt.

In (L111813) versucht Lehrer 1 die Schüler auf eine Verallgemeinerung hin zu orientieren. Tanja läßt sich in dieser Phase von der Orientierung des Lehrers beeindrucken. Die Antwort hat eine komplexe Geschichte:

1. Tanja führt gerade eine Handlung durch (sie schreibt Protokoll), die für sie wenig wichtig ist, die Handlung ist also unterbrechbar.

2. Der Lehrer hat mit den Schülern im vorhergehenden Unterricht sehr intensiv Energieumwandlungsprobleme in verschiedenen physikalischen Bereichen behandelt, Tanja konnte dem Term "Energie" hier deshalb die Bedeutung zuweisen: 'Herr Dudeck ist mit "Energie" zufriedenzustellen'. Daß Tanja diesem Begriff keine weitere Bedeutung zuweist, geht aus ihrem verlegenen Lachen bei der Nennung von "Wärmeenergie" hervor und daraus, daß die von Lehrer 2 eingeleitete Phase wirkungslos bleibt. "Energie" wird von Tanja nur in (Ta21106) in einer ähnlichen Situation wieder benutzt.

12017 :1Tin :Der elektrische Effekt bleibt aus, wenn die PVC-Folie geerdet wird.

12018 :1TIn :Läßt man eine Aluminium-Folie auf eine geriebene PVC-Folie fallen,
:kann der Effekt erzielt werden, wenn die Aluminium-Folie mit der
:Glimmlampe berührt wird.

12018 :1TIn :Die Aluminium-Folie leitet Elektrizität (Strom, das den Effekt
:hervorrufende Objekt).

12107 :1TS :Der elektrische Effekt bleibt aus, wenn die PVC-Folie geerdet wird.

12304 :1Ti :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien
:gerieben, ziehen sie sich an.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Objekt 3: Material 1
:Objekt 4: Material 2
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann geladen werden
:Eigenschaft 3: kann laden
:Eigenschaft 4: kann anders laden
:Ereignis: Die geladenen PVC-Folien ziehen sich an.
:Beziehung: Es gibt prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.
:Programm: Ladungserzeugung 1 wird modifiziert
:(Ladungserzeugung 2).
:Prinzip T1 : PVC-Folien können so behandelt werden, daß sie unter-
:schiedliche Wirkung hervorrufen können.

12309 :1TI :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien
:gerieben, ziehen sie sich an.

12314 :1Th :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien
:gerieben, leuchten beide Seiten der Glimmlampe, wenn die Folien
:durch die Glimmlampe miteinander verbunden werden.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: unterschiedliche Materialien
:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: kann geladen werden

:Eigenschaft 2: können unterschiedlich laden
:Eigenschaft 3: hat zwei Glimmfäden
:Ereignis: Die Glimmfäden der Glimmlampe leuchten/leuchten nicht.
:(Sequenz) Die Handlung und die durch sie in Beziehung zueinander
:gebrachten Objekte werden durch die Erwartung des Ereignisses
:zeitlich und räumlich geordnet.
:Beziehung: Es gibt prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.
:Programm: Ladungsnachweis 1 wird modifiziert(Ladungsnachweis 2)
:Programm: Ladungserzeugung 2
:Prinzip T2 : Die Beziehung (Existenz von zu unterscheidender
:Ladung) ist Ursache für Ereignisse in verschiedenen Situationen.

12413 :1Ts :Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien
:gerieben, leuchten beide Seiten der Glimmlampe, wenn die Folien
:durch die Glimmlampe miteinander verbunden werden.

Tanja gelingt hier eine prinzipielle Verbindung zwischen den beiden Ereignissen "die PVC-Folien ziehen sich an/stoßen sich ab" und "die Glimmfäden der Glimmlampe leuchten/leuchten nicht". Die bereits früher wahrgenommene (Ta10504) Eigenschaft der Glimmlampe "geteilt zu sein" und die hier gerade festgestellte Eigenschaft der PVC-Folie "Werden PVC-Folien mit unterschiedlichen Materialien (etwa Leiter/Nichtleiter oder Metall/Plastik) gerieben, ziehen sie sich an" generieren eine neue Erwartung (und ein neues Handlungsziel): Werden zwei PVC-Folien mit unterschiedlichem Material gerieben, leuchten beide Teile der Glimmlampe. Nur dadurch, daß Tanja ein Prinzip entwickelt, ist die Konstruktion der entsprechenden Erwartung möglich. Die Programme "Ladungsnachweis" und "Ladungserzeugung" sind damit modifiziert.
Die Erwartung ist so mächtig, daß der Versuch nach einem ersten Scheitern wiederholt wird, im zweiten Versuch ein Leuchten der erwarteten Art tatsächlich wahrgenommen und dieses Ereignis von Tanja sofort aufgeschrieben wird.

2.1.4 Handlungsphase 3

12705 :1Tin :Strom wird verbraucht.

12720 :1Th :Bei der Versuchsdurchführung könnten zwei Pole eine Rolle spielen.
:**Versuch der Anwendung des Prinzips T2 von Ta12314.**

12800 :1Tin :Eine Plastikfolie leitet die Elektrizität nicht zur Masse ab.

12916 :1TI :Die Glimmlampe ist nicht defekt.

13022 :1TIn :Die Glimmlampe ist Nachweisgerät, auch wenn sie am Glas gehalten
:wird.

13103 :1TS :Die Glimmlampe ist Nachweisgerät, auch wenn sie am Glas gehalten :wird.

13112 :1TS :Mit Metall läßt sich der Effekt nicht herstellen.

13114 :1TI :Die Glimmlampe ist Nachweisgerät, auch wenn sie am Glas gehalten :wird.

13213 :1TIn :Eine geriebene PVC-Folie zieht ein Blatt Papier an.

13219 :1Tin :Wird eine Glimmlampe zwischen die zusammengebogenen Enden :einer geladenen PVC-Folie gehalten, leuchtet die Glimmlampe.

13302 :1Th :Mit allen Gegenständen im Raum kann nur Anziehung erreicht :werden.

13504 :1TS :Die Glimmlampe leuchtet, wenn sie zwischen den Fingern gehalten :und mit einem am Glas befestigten Kabel über eine geriebene PVC-:Folien gestrichen wird.

13601 :1Th :Die Glimmlampe leuchtet, wenn das Kabel auf der einen Seite an der :geladenen PVC-Folie und auf der anderen Seite an der Glimmlampe :angeklemmt ist. Eine Seite der Glimmlampe kann dabei frei sein.

14018 :1Ts :Um einen Effekt zu erreichen, muß die Glimmlampe an der freien :Seite angefaßt werden.

14025 :1TI :Um einen Effekt zu erreichen, muß die Glimmlampe an der freien :Seite angefaßt werden.

14119 :1TSn :Wird die Glimmlampe am Glas gehalten, ist sie kein Nachweisgerät.

Auf eine Ordnung der Ideen dieser Handlungsphase nach POWERS wird verzichtet.

Wie auch bei Jens (s.S. 114) wird die Handlung der 3. Phase auch bei Tanja durch einen neuen subjektiven Erfahrungsbereich organisiert. Ein wichtigstes strukturbildendes Element ist die Erwartung (in Ta10505 gebildet), daß die Glimmlampe ihre Funktion als Nachweisgerät nicht verliert, wenn sie am Glas gehalten wird. In (Ta13103) geht Ta auf die eingreifende Schülerin ein (im Gegensatz zu Jens) und verteidigt die Erwartung mit Bezug darauf, daß dies früher schon ausprobiert wurde:

(Ta13125)
"Das ham wir nämlich gleich am Anfang ausprobiert."

Die Erwartung wird erst in (Ta14019) in Bezug auf diese Situation aufgegeben:

(Ta14019)
"(Zeigt schon seit einiger Zeit auf) Ja also wir verbinden eine Folie durch äh und eine Glimmlampe durch ein Kabel' ... die Glimmlampe halten wir am Metall fest ... und dann laden wir die Folie auf und dann glüht die Glimmlampe' ... halten wir die Glimmlampe aber am Glas fest' glüht sie nich."

Erst jetzt, während eines Klassengesprächs ist zu erkennen, daß Tanja ihre Erwartung bezüglich des Leuchtens der Glimmlampe geändert hat. Vorher ist keine weitere Orientierung von anderen Lehrern oder Schülern zu erkennen. Die Handlung in Phase 3 wird tatsächlich von einem neuen, von den anderen getrennten subjektiven Erfahrungsbereich organisiert. Dafür spricht, daß die alte Erwartung in späteren Situationen wieder eingesetzt wird und es neuer Handlungen in diesen Situationen bedarf, um diese Erwartung zu ändern (Ta52424).

2.2 1. Doppelstunde/Jens

2.2.1 Die Handlungsorganisation

Bildung von Objekten als invariante Elemente. Den Objekten werden Eigenschaften zugeordnet.

Ordnung der Materialien nach "geht/geht nicht".

Verallgemeinerung am Ende der Phase:
Mit allen Kunststoffen läßt sich der erwartete Effekt herstellen.

Ordnung der Materialien nach "Agens" und "Patiens".

Ordnung des "Patiens".

Es werden nur PVC-Folien als geeignet akzeptiert.

Ordnung des "Agens".
Alle Materialien werden akzeptiert.

Ordnung der Objekte nach "zieht an/stößt ab".

Lösung vom Material.

Die Verantwortung für den Effekt wird einem verschiebbaren, nicht näher bezeichneten Stoff zugeschrieben.

Plus und Minus werden als Ordnung stiftende Eigenschaften akzeptiert und organisieren die folgenden Handlungen.

2.1.2 Handlungsphase 1

10211	:1Jin	:Eine PVC-Folie läßt sich elektrisieren, weil Lehrer 1 es vorgemacht :hat. :Objekt: PVC-Folie. :Eigenschaft: Kann elektrisiert werden.
10213	:1Jin	:Glimmlampe wird als Nachweisgerät für Elektrizität benutzt, weil L1 :sie so eingeführt hat. :Objekt: Glimmlampe. :Ereignis: Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
10216	:JIn	:Glimmlampe wird als Nachweisgerät für den Effekt (nicht näher :bezeichnet) benutzt, weil L1 sie so eingeführt hat. :Objekt: Glimmlampe :Ereignis: leuchtet/leuchtet nicht :Beziehung: Die Glimmlampe leuchtet, wenn die Gegenstände in :bestimmter Weise behandelt wurden. :Programm: Ladungsnachweis 1
10218	:1Jsn	:Die PVC-Folie klebt auf der Unterlage, weil sie angerieben wurde.
10319	:1Ji	:Mit Polyacryl läßt sich der erwartete Effekt herstellen.
10325	:1JI	:Wird eine PVC-Folie mit Kunstfaser bearbeitet, läßt sich der :erwartete Effekt herstellen.
10415	:1JIn	:Wird eine PVC-Folie mit Kunstfaser bearbeitet, läßt sich der ::erwartete Effekt herstellen.
10426	:1JIn	:Wenn die PVC-Folie geerdet ist, läßt sich der Effekt nicht :herstellen.
10430	:1JS	:Wenn die PVC-Folie geerdet ist, läßt sich der Effekt nicht :herstellen.
10505	:1JS	:Die Glimmlampe verliert ihre Funktion als Nachweisgerät nicht, :wenn sie am Glas angefaßt wird.
10528	:1Jhn	:Mit einer Polyester-Tüte kann der Effekt hergestellt werden :(Glimmlampe leuchtet). :Objekt 1: Polyester-Tüte. :Objekt 2: Glimmlampe :Eigenschaft 1: bringt Glimmlampe zum Leuchten. :Eigenschaft 2: kann leuchten :Ereignis: Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

10617 :1Ji :Die eigene Jacke besteht aus Baumwolle.

10620 :1JIn :An einer PVC-Folie kann der Effekt mit Kunst- oder Naturfasern :erreicht werden.

10620 :1JS :An einer PVC-Folie kann der Effekt mit Kunst- oder Naturfasern :erreicht werden.

10712 :1Jh :Metalle lassen sich nicht aufladen.

10803 :1JS :Metalle lassen sich nicht aufladen.

10804 :1Jh :Die Schicht auf dem Polyester-Lineal besteht aus Metall.
:Objekt 1: Polyester-Lineal
:Objekt 2: Schicht
:Eigenschaft 1: ist aus Kunststoff
:Eigenschaft 2: ist aus Metall

10809 :1Jhn :Alle Kunststoffe haben elektrische Eigenschaften.

10921 :1JSn :Die Dauer des Reibens hat keinen Einfluß auf den Effekt.

11123 :1JS :Die Schicht auf dem Polyester-Lineal besteht aus Metall.
:Objekt 1: Polyester-Lineal
:Objekt 2: Schicht
:Eigenschaft 1: ist aus Kunststoff
:Eigenschaft 2: ist aus Metall

Es werden Invarianten gebildet, die sich auf Objekte beziehen. Da dem Schüler alle Objekte (bis auf die Glimmlampe) bekannt sind, werden parallel zur Objektbildung bereits Eigenschaften zugeordnet. Die Erwartungen sind allerdings noch wenig komplex. In dieser Phase der Handlung werden vom Schüler Jens alle verfügbaren Materialien angefaßt, bezüglich des Ereignisses "Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht" ausprobiert und so weiter geordnet.

11210 :1JS :Gegenstände aus Kunststoff speichern Strom.
:Objekt 1: Kunststoffgegenstand
:Objekt 2: Strom
:Eigenschaft 1: kann Strom speichern
:Eigenschaft 2: ist unabhängig von anderen Objekten
:Beziehung: Alle Gegenstände aus Kunststoff können geladen werden.
:Programm: Ladungserzeugung 1

Diese Aussage ist eine Fortsetzung der Aussagen Tanja's:

(Ta1)
"Ah das (die leitende Schicht auf einem Polyester-Lineal) leitet den Strom weg."

Bis hierher ist das Ereignis "Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht" benutzt worden, andere Objekte zu ordnen und neue Objekte zu bilden, die aber noch keinen anderen Charakter haben als die vorhergehenden. Der Handlungsablauf wird von einem Programm "Ladungsnachweis 1" gesteuert. Das Objekt "PVC-Folie" wird durch die Zuordnung der Eigenschaft "kann elektrisiert/geladen/erfolgreich gerieben werden" zum neuen Objekt mit den Namen "Plastik", "Kunststoffsachen" oder "Kunstfasern", ohne dadurch andere Eigenschaften zugewiesen zu bekommen. Der Handlungsablauf "Laden einer PVC-Folie" oder allgemeiner "Laden von Plastik" wird durch das Programm "Ladungserzeugung 1" geleitet. Der Objektname für leitende Gegenstände ist "Metall". Die Organisierung der Handlung geschieht dadurch, daß eine Eigenschaft unterschiedlichen Gegenständen zugeordnet wird. Dadurch wird das Objekt komplexer, bleibt aber qualitativ konstant.

2.1.3 Handlungsphase 2

11226	:1Jin	:Geriebene Gegenstände ziehen sich an. :Objekt 1: Gegenstand 1 :Objekt 2: Gegenstand 2 :Eigenschaft:Objekte 1 und 2 können gerieben werden. :Ereignis: Die Gegenstände ziehen sich an.
11300	:1JIn	:Elektrisierte Gegenstände ziehen sich an. :Objekt 1: Gegenstand 1 :Objekt 2: Gegenstand 2 :Eigenschaft: Objekt 1 und 2 können durch Reiben geladen werden. :Ereignis: Die Gegenstände ziehen sich an.
11322	:1Jhn	:Es hat Einfluß auf den Effekt, welche Gegenstände gerieben werden.
11326	:1JS7	:Der Tischtennisball ist mit Graphit beschichtet.
11416	:1JS	:Leiter und Nichtleiter ziehen sich an. :Objekt 1: Leiter :Objekt 2: Nichtleiter :Eigenschaft 1: ist geladen :Eigenschaft 2: ist anders geladen als Objekt 2 :Ereignis: Die Objekte ziehen sich an.

:1JS :Zwei Leiter stoßen sich ab.
:Objekt 1: Leiter 1
:Objekt 2: Leiter 2
:Eigenschaft 1: ist geladen
:Eigenschaft 2: ist geladen wie Objekt 1
:Ereignis: Die Objekte stoßen sich ab.
:Beziehung: Ungleiches zieht sich an/Gleiches stößt sich ab.

11720 :1JS :PVC-Folie ziehen sich nicht an, wenn sie aneinander gerieben
:wurden.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Eigenschaft 1: kann durch Reiben geladen werden
:Eigenschaft 2: kann durch Reiben geladen werden
:Ereignis: Die Objekte 1 und 2 ziehen sich nicht an.
:Beziehung: Werden Materialien miteinander gerieben, laden sie sich
:nicht auf.

Durch die Ereignisse werden die Objekte und ihre Eigenschaften logisch zueinander geordnet. Die Beziehung wird zwischen den Objekten (Leiter und Nichtleiter) selbst konstruiert. Ladung wird in diesem Zusammenhang noch nicht als Eigenschaft stiftendes Objekt wahrgenommen. Instanz für die Kontrolle der Konsistenz der konstruierten Beziehung ist das jeweilige Ereignis. In (Je11322) deutet sich bereits eine Modifizierung des Programms "Ladungserzeugung 1" an.

11813 :1L1 :"Kann nich' Hast du eine Theorie'

11817 :1Js :Wenn Energie beim Effekt eine Rolle spielt, muß sie von außen
:zugeführt werden.

Dies ist Reaktion auf die Anforderung des Lehrers, über die eigene Handlung eine Aussage mit System- oder Theoriecharakter zu äußern. Diese Aussage ist von der Erwartung organisiert, daß dieser Lehrer mit dem Begriffsnamen "Energie" zufriedenzustellen ist. Die Reaktion des Lehrers bestätigt diese Einschätzung. Vermutlich wird diese Handlung durch ein Programm oder System organisiert, das Bestandteil eines anderen subjektiven Erfahrungsbereichs ist: "Erfahrungen mit dem Lehrer (Herr D.) im Physikunterricht". Tatsächlich hat Herr D. im vorangegangenen Physikunterricht sehr sorgfältig und extensiv Energieumwandlungs- und Energieübertragungsprozesse behandelt.

11824 :1Jh :Mit einem Leiter kann an einer Folie der Effekt erzielt werden.

11825 :1JIn :Wird ein graphitierter Tischtennisball angezogen, ist der anziehende
:Körper geladen.

11829 :1JS :Mit einem Leiter kann an einer Folie der Effekt erzielt werden.

11903	:1JI	:Wird eine PVC-Folie mit einer Aluminium-Platte gerieben, darf die :PVC-Folie nicht auf dem Tisch liegen.
11910	:1Jin	:Das Kleben der Aluminium-Folie an der PVC-Folie ist kein :Nachweis dafür, daß die Folien geladen sind.
11910	:1Jin	:Wird ein graphitierter Tischtennisball angezogen, ist der anziehende :Körper geladen.
11923	:1Jh	:Wird eine PVC-Folie mit einer Aluminium-Folie gerieben, ist auch :die nicht geriebene Seite der PVC-Folie geladen.
12001	:1Jhn	:Wird ein Polyester-Becher mit einem Tuch gerieben, lädt er sich auf.
12003	:1JIn	:Wird ein graphitierter Tischtennisball angezogen, ist der anziehende :Körper geladen.
12006	:1JS	:Wird ein graphitierter Tischtennisball an einem Faden in einen :geladenen Polyesterbecher gehalten, läßt er sich nicht in der Mitte :plazieren.

12016	:1JI	:Metall stellt wie ein Blitzableiter eine Verbindung zur Erde her. :Objekt 1: Metall :Objekt 2: Erde :Objekt 3: Strom (unspezifisch) :Eigenschaft 1: leitet zur Erde. :Eigenschaft 2: nimmt auf :Eigenschaft 3: wird geleitet
12122	:1JS	:Plastik ist kein Blitzableiter, weil es nicht leitet. :Objekt 1: Plastik :Objekt 2: Strom (unspezifisch) :Eigenschaft 1: leitet nicht :Eigenschaft 2: kann geleitet werden

Unabhängig von der ordnenden *Eigenschaft* der vorhergehenden Handlungsphase werden die Objekte in dieser Phase nach ihrer Kraftwirkung, also nach *Ereignissen* geordnet. "Metall/Leiter" und "Plastik/Kunststoff/Nichtleiter" bilden je eine invariante Kategorie. Es werden so neue Objekte dadurch gebildet, daß die alten Objekte durch die *Eigenschaft* ("leitet/leitet nicht") bzw. die *Ereignisse* ("Glimmlampe leuchtet/ leuchtet nicht" und "Gegenstände ziehen sich an/stoßen sich ab") strukturell verbunden werden. Mit den neuen Objekten wird anschließend verfahren wie mit den alten niedrigerer Ordnung, sie besitzen von nun an aber eine komplexere Struktur. Hier ist also eine neue, komplexere Invariante gebildet worden, die nicht mehr nur Objekte und ihre Gestalt beschreibt, sondern Objekte auf der Eigenschaftsebene mit anderen Objekten verbindet.

In (Je11210) ist bereits ein Element "Strom" zu erkennen, das in dieser Phase, da es selbst noch keine Eigenschaft zugeordnet bekommt, ausschließlich Objektcharakter (3. Ordnung) besitzt. Es ist mit anderen Objekten dadurch verbunden, daß es selbst aktives Element der Differenzierung der Objekte in "Kunststoffsachen" und "Metall" ist.

12217 :1Jh :Wird eine geladene PVC-Folie über einen metallenen Gegenstand mit
:einer Glimmlampe berührt, wird der Strom über das Metall
:weggeleitet.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Metall
:Objekt 3: Glimmlampe
:Objekt 4: Strom (unspezifisch)
:Eigenschaft 1: trägt Ladung
:Eigenschaft 2: leitet
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 4: kann geleitet werden
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

12307 :1Jhn :Werden Folien mit unterschiedlichen Gegenständen gerieben, laden
:sie sich unterschiedlich auf.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Objekt 3: Gegenstand 1
:Objekt 4: Gegenstand 2
:Eigenschaft 1: kann anders geladen werden als PVC-Folie 2
:Eigenschaft 2: kann anders geladen werden als PVC-Folie 1
:Eigenschaft 3: kann anders laden als Gegenstand 2
:Eigenschaft 4: kann anders laden als Gegenstand 1
:Beziehung: Es gibt zwei prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.

12309 :1JS :Zwei geladene PVC-Folien, die sich anziehen, bilden einen Plus-
:bzw. Minuspol.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Eigenschaft 1: kann mit "Plus" geladen werden
:Eigenschaft 2: kann mit "Minus" geladen werden
:Ereignis: Folie 1 und Folie 2 ziehen sich an
:Beziehung: Es gibt zwei prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.
:Programm: Durch Anziehung und Abstoßung können
:unterschiedliche Ladungen identifiziert werden (Ladungsnachweis 2).
:Programm: Durch unterschiedliche Behandlung eines Materials
:können unterschiedliche Ladungen erzeugt werden
:(Ladungserzeugung 2).

Die entstandene Sammlung von Eigenschaften (Metall leitet Elektrizität/Ladung/Strom, PVC-Folien tragen Elektrizität/Ladung/Strom, Leiter und Nichtleiter ziehen sich an, zwei Nichtleiter stoßen sich ab) werden zu einer charakteristischen Beziehung verdichtet (Geriebene PVC-Folien sind Träger von positiver oder negativer Ladung). Wurde

"geladen werden" bisher synonym zu "den Effekt herstellen" benutzt, steht in (Je12309) durch die Ladungsbeziehung zum ersten Mal ein Objekt zur Verfügung das, nicht nur abhängig vom zu ladenden Objekt geladen werden kann. Die Ladungsbeziehung ist eine Wahrnehmung sechster Ordnung (logische Beziehungen) und verbindet alle bisher zugewiesenen Eigenschaften. Dadurch ist die Möglichkeit zur Generierung eines qualitativ neuen Handlungsziels geschaffen:

(Je12311)
"jetzt muß man nur wissen welcher hier was is"

Dies ist bereits der Ausgangspunkt zur Anwendung eines *Prinzips*. Die *Programme* und *Beziehungen* sollen eingesetzt werden, um ein zentrales Objekt dieser Beziehung, die Ladung, weiter zu differenzieren. Daß das generierte Handlungsziel nicht weiter verfolgt werden kann, liegt daran, daß noch nicht genügend Beziehungen zur Verfügung stehen, um ein *Prinzip* entwickeln zu können. Es fehlen u.a. Entscheidungskriterien bezüglich der Ladungsarten (deren Existenz nicht mehr angezweifelt wird). Dennoch können weitere Handlungen zur Sammlung weiterer Eigenschaften von Objekten und Stiftung neuer Beziehungen zwischen ihnen organisiert werden. Die Erwartung zweier Pole (Suche nach "Plus" und "Minus") fördert die Ordnung der Objekte nach positiver und negativer Ladbarkeit und die Einordnung der Glimmlampe unter die Ladungsbeziehung.

2.1.4 Handlungsphase 3

12324 :1Ji :Werden zwei Folien mit unterschiedlichen Materialien gerieben,
:leuchten beide Seiten der Glimmlampe, wenn die Folien durch die
:Glimmlampe miteinander verbunden werden.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: unterschiedliche Materialien
:Objekt 3: Glimmlampe
:Objekt 4: Ladung
:Eigenschaft 1: kann geladen werden.
:Eigenschaft 2: können unterschiedliche Ladung bewirken
:Eigenschaft 3: hat zwei Glimmfäden
:Eigenschaft 4: kann unterschiedlich sein
:Ereignis: Die Glimmfäden der Glimmlampe leuchten/leuchten nicht.
:(Sequenz: Zwei PVC-Folien werden unterschiedlich geladen und
:durch die Glimmlampe (die Erwartung des Ereignisses) räumlich
:geordnet).
:Beziehung: Jede Ladungsart ist einem Glimmfaden zugeordnet.

12410 :1Jh :Werden zwei Folien mit dem selben Material gerieben, leuchtet die
:Glimmlampe nur auf einer Seite.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: gleiches Material
:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: erzeugt gleiche Ladungsart
:Eigenschaft 3: hat zwei Glimmfäden
:Ereignis: Die Glimmfäden der Glimmlampe leuchten/leuchten nicht.
:(Sequenz: Zwei PVC-Folien werden gleich geladen und durch die
:Glimmlampe (die Erwartung des Ereignisses) räumlich geordnet).
:Beziehung: Jede Ladungsart ist einem Glimmfaden zugeordnet.
:Programm: Die Differenzierung der Ladungseigenschaft (+/-) und
:der Eigenschaft der Glimmlampe (zwei Glimmfäden) ermöglicht die
:Modifizierung des Programms "Ladungsnachweis 1".

12501 :1JI :PVC-Folien ziehen sich nicht an, wenn sie aneinander gerieben
:wurden.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Eigenschaft 1: kann durch Reiben geladen werden
:Eigenschaft 2: kann durch Reiben geladen werden
:Ereignis: Die Objekte 1 und 2 ziehen sich nicht an
:Beziehung: Werden Materialien miteinander gerieben, laden sie sich
:nicht auf.

In einer Reihe von Versuchen wird die neue Beziehung (mit unterschiedlichen Materialien geriebene PVC-Folien haben die unterschiedlichen Eigenschaften "Plus" und "Minus") angewandt. Diese Beziehung ist auch auf andere Eigenschaftsbereiche der Objekte anwendbar. So gelingt es Jens, nach einer Orientierung durch Tanja, die Ereignisse "Kraftwirkung einer PVC-Folie auf andere Folien" und "unterschiedliches Leuchten der Glimmlampe" über diese Beziehung zu verbinden. Notwendige Voraussetzungen der Beziehungsbildung in dieser Phase sind:

1. In (Je10502) wurde bereits wahrgenommen, daß die Glimmlampe zweigeteilt ist.

2. Die Ordnung der Objekte durch das Ereignis "Gegenstände stoßen sich ab/ziehen sich an" ist abgeschlossen. Diese Eigenschaft kann zwei anderen Eigenschaften ("Die Glimmlampe ist zweigeteilt" und "die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht" mit Hilfe der Ladungsbeziehung (es gibt zwei unterschiedliche Ladungsarten) zugeordnet werden.

3. Die Objekte selbst werden Träger des auf dieser Wahrnehmungsebene ausdifferenzierten Objekts "Ladung".

Die folgenden Handlungen werden von Erwartungen organisiert, die auf der gerade beschriebenen Beziehungsebene anzusiedeln sind:

Die Handlungsziele betreffen nicht mehr die bisherigen Objekte, sondern durch Beziehungen modifizierte und deshalb neu wahrgenommene Objekte. Die Programme "Ladungsnachweis 2" und "Ladungserzeugung 2" steuern somit Handlungen, die den Ausbau der Beziehungen zum Ziel haben und damit rekursiv qualitativ neue Objektkonstruktionen ermöglichen.

12510 :1JIn :Die Ladung auf einem Leiter ist frei beweglich.
:Objekt 1: Ladung
:Objekt 2: Leiter
:Eigenschaft 1: ist beweglich
:Eigenschaft 2: behindert Beweglichkeit der Ladung nicht
:Beziehung: Leiter sind Träger von Ladung.

:1JIn :Metalle leiten Elektrizität.

:1JIn :Plastik ist kein Blitzableiter weil es Elektrizität/Ladung/Strom nicht
:leitet.
:Objekt 1: Plastik
:Objekt 2: Elektrizität/Ladung/Strom
:Eigenschaft 1: leitet nicht
:Eigenschaft 2: kann geleitet werden

12812 :1JI :Durch Anfassen wird die Folie geerdet.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Erde
:Eigenschaft 1: ist geladen
:Eigenschaft 2: nimmt Ladung auf
:Ereignis: Anfassen entlädt PVC-Folie
:Beziehung: Der eigene Körper stellt eine leitende Verbindung
:zwischen PVC-Folie und Erde her.

12910 :1Jh :Die Glimmlampe leuchtet nicht, weil der Widerstand des Kabels zu
:groß ist.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: Widerstand
:Objekt 3: Kabel
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 2: verhindert, daß Ladung zu Glimmlampe kann
:Eigenschaft 3: besitzt Widerstand
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

12911 :1JI :Wird mit der Glimmlampe über eine geladene PVC-Folie gestrichen,
:wenn man sie an einem Ende in der Hand hält, leuchtet die
:Glimmlampe.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: PVC-Folie
:Objekt 3: Hand
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 2: ist geladen
:Eigenschaft 3: leitet
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

12917 :1Jh :Die Glimmlampe leuchtet nicht, weil der Widerstand des Kabels zu
:groß ist.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: Widerstand
:Objekt 3: Kabel
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 2: verhindert, daß Ladung zu Glimmlampe kann
:Eigenschaft 3: besitzt Widerstand
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

12923 :1JS :Die Glimmlampe leuchtet nicht, weil der Widerstand des Kabels zu
:groß ist.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: Widerstand
:Objekt 3: Kabel
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 2: verhindert, daß Ladung zu Glimmlampe kann
:Eigenschaft 3: besitzt Widerstand
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

12925 :1JI :Der Versuchsaufbau (F KK-K-KK-Gl) ist nicht geeignet, die
:Glimmlampe zum Leuchten zu bringen.
:Objekt 1: PVC-Folie (F)
:Objekt 2: Krokodilklemme (KK)
:Objekt 3: Kabel (K)
:Objekt 4: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: ist geladen
:Eigenschaft 2: leitet
:Eigenschaft 3: leitet
:Eigenschaft 4: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht. Die Handlung
:wird nach der Erwartung strukturiert, daß die Glimmlampe auch dann
:leuchtet, wenn ihr freies Ende nicht geerdet ist. Die Objekte werden
:durch diese Erwartung relativ zueinander geordnet.

13120 :1JI :Die Glimmlampe ist Nachweisgerät, wenn man sie am Glas anfaßt.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: Glas der Glimmlampe
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet, wenn sie am Glas gehalten wird.

13215 :1Jh :Werden die Enden einer geriebenen PVC-Folie mit einer Glimmlam-
:pe verbunden, leuchtet die Glimmlampe.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: trägt an unterschiedlichen Stellen unterschiedliche
:Ladungsarten
:Eigenschaft 2: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
:Beziehung: Unterschiedliche Ladungen bewirken bei der
:Glimmlampe das Leuchten des jeweils anderen Glimmfadens.
:Prinzip J1 : Unterschiedliche Ladungen sind verantwortlich für
:verschiedene Ereignisse in unterschiedlichen Situationen (Je12410).

13418 :1Jin :Die Glimmlampe leuchtet, wenn sie an der freien Seite geerdet ist.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: Erde
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 2: nimmt Ladung auf
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

13518 :1JSn :Die Versuche mit angeklemmter und über die Folie bewegter
:Glimmlampe sind gleichwertig.

In dieser Phase der Handlung werden in diesem Unterricht neu benutzte Objekte (Attribute eines Stromkreises, Kabel und Krokodilklemme) mit den bereits vorhandenen Objekten auf der Eigenschaftsebene verbunden. Zu vermuten ist, daß eine die Objekte strukturierende Beziehung, die bereits in anderem Unterricht erprobte Leitfähigkeit von Kabeln und ihr Einsatz in Stromkreisen betreffend, die Handlungsziele generiert und die Erwartungen strukturiert. Die Diskrepanz zwischen Erwartungen und den wahrgenommenen Handlungsergebnissen ist Antrieb für weitere Handlungen. In dieser Handlungsphase 3 ist bedeutsam, daß Jens die Versuche zunächst durchführt, ohne Berücksichtigung der Eigenschaft "die Glimmlampe leuchtet nur, wenn sie am ableitenden Metallteil gehalten wird". Jens hat bereits in (Je10505) erfahren, daß sie geleuchtet hat, obwohl sie am Glas gehalten wurde. Allerdings wurde mit der Glimmlampe direkt über die PVC-Folie gestrichen. Das Programm "Ladungsnachweis 1" wurde bereits in anderen Situationen benutzt. Zum Programm gehört der vollständige Ablauf aller notwendigen Handlungen. Es enthält nicht die der Glimmlampe bereits zugeordnete Eigenschaft geteilt zu sein (Ladungsnachweis 2) (Je12324). Diese Eigenschaft betrifft eine andere, nicht als ähnlich eingeordnete Situation. Das Objekt und seine Eigenschaften sind als *Programm* in hohem Maße invariant. Zu dieser Invarianten gehört in diesem Fall auch die physikalisch nicht adäquate Eigenschaft der Glimmlampe, zu leuchten, obwohl sie am Glas gehalten wird. In der vorliegenden Handlungsphase geht Jens deshalb nicht auf eindringliche Versuche einer anderen Schülerin ein, ihn auf die adäquate Eigenschaft zu orientieren:

12925 :1JI :Der Versuchsaufbau (F KK-K-KK-Gl) ist nicht geeignet, die Glimm-
:lampe zum Leuchten zu bringen.

(S13018)
"(S an Tisch 2 beobachtet den Aufbau des Versuchs schon eine ganze Zeit)
S:Je: Dann mußt du aber die andere Seite festhalten Jens."

(S13021)
"S:Je: Du mußt die andere Seite festhalten ... von der Glimmlampe"

(S13026)
"(Kommt zum Tisch 5) S:Je: Du mußt doch jetzt die Seite festhalten."

(S13029)
"(Zeigt an der Glimmlampe) S:Je: Die mußt du doch an der Seite festhalten."

(S13101)
"S:Je: Doch. Muß man doch eigentlich immer."

(S13103)
"S:Je: Die muß man ja an dem Ende festhalten."

13120	:1JI	:Die Glimmlampe ist Nachweisgerät, wenn man sie am Glas anfaßt.
13215	:1Jh	:Werden die Enden einer geriebenen PVC-Folie mit einer Glimmlam- :pe verbunden, leuchtet die Glimmlampe.
13418	:1Jin	:Die Glimmlampe muß an der freien Seite geerdet sein.
13518	:1JSn	:Die Versuche mit angeklemmter und über die Folie bewegter Glimm- :lampe sind gleichwertig.
(S13619)		"(Eine Schülerin aus dem Hintergrund) S:Je: Das nützt nichts.
13608	:1JS	:Die Glimmlampe muß an der freien Seite geerdet sein.
13621	:1Jh	:Die Glimmlampe leuchtet (theoretisch), wenn sie am Glas gehalten :wird.
13705	:1JS	:Die Glimmlampe muß an der freien Seite geerdet sein.
13721	:1JS	:Die Glimmlampe leuchtet nicht, wenn sie am Glas gehalten wird.

Trotz massiver Orientierungsversuche der Schülerin gelingt es Jens zunächst nicht, die adäquate Beziehung zu konstruieren. Das weist darauf hin, daß Jens' Handlungen von einem subjektiven Erfahrungsbereich organisiert werden, der von dem, der die Handlungsphasen 1 und 2 organisiert hat, getrennt zu betrachten ist. Jens wendet Elemente nicht an, die in anderen Situationen dieser Unterrichtsstunde bereits angewendet wurden und hier zu einem widerspruchsarmen Verständnis führen könnten:

12016	:1JI	:Metall stellt wie ein Blitzableiter eine Verbindung zur Erde her.
12122	:1JS	:Plastik ist kein Blitzableiter, weil es nicht leitet.
12217	:1Jh	:Wird eine geladene PVC-Folie über einen metallenen Gegenstand mit :einer Glimmlampe berührt, wird der Strom über das Metall :weggeleitet.

Die Anwendung des *Programms* "Ladungsnachweis 1" hat in anderen Situationen eine dominante Erwartung erzeugt und ist zunächst dem subjektiven Erfahrungsbereich zugeordnet, der Handlungsphase 3 organisiert. Zu einem Programm gehört die Erwartung, daß es in ähnlichen Situationen einsetzbar ist, ohne eine Diskrepanz zur zu organisierenden Handlung zu erzeugen. Dadurch, daß die Glimmlampe des *Programms* eine nicht adäquate Eigenschaftszuordnung erfahren hat, ist ein solcher Einsatz nicht möglich. Dies führt zu einem sehr langwierigen und mühsamen Prozeß, der darin endet, daß die neue Eigenschaft der Glimmlampe (muß am ableitenden Metallteil gehalten werden) zunächst für diese Situation akzeptiert wird.

Das alte Ereignis (die Glimmlampe leuchtet auch, wenn sie am Glas gehalten wird) wird in dieser Situation ausdrücklich abgelehnt. Die Änderung der Ereigniszuordnung (Änderung der Erwartung) erfolgt nicht durch einfachen Austausch, sondern in einer labilen Phase. In dieser Phase werden der Glimmlampe abwechselnd beide Erwartungen bezüglich der Ereignisse zugewiesen. Eingeleitet wird dieser Prozeß nicht durch Orientierung von außen, sondern durch in der eigenen Handlung erfahrene Diskrepanz zwischen Erwartung (im *Programm* enthalten) und Handlung (s.S. 27).

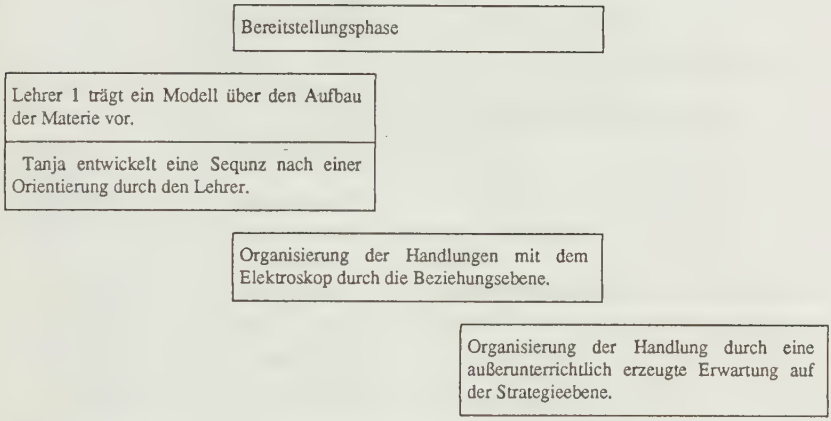
Die Änderung der Eigenschaftszuordnung hat aber keinesfalls eine Änderung des *Programms* zur Folge. Die neue (physikalisch adäquate) Eigenschaft wird nur in dieser Situation angewandt und bleibt Invariante des hier wirksamen subjektiven Erfahrungsbereichs. Das Problem wird in (L160303) vom Lehrer 1 angesprochen und erst dort von den Schülern so behandelt (in dieser Situation), als hätte es Handlungsphase 3 in der 1. Doppelstunde nicht gegeben.

An einem Beispiel soll noch einmal der Prozeß des Beziehungstiftens erklärt werden. In (Je13215) ist zu erkennen, daß eine Eigenschaft (die der Glimmlampe, geteilt zu sein) in einer anderen Situation angewandt wird, um einem anderen Objekt (der PVC-Folie) eine neue Eigenschaft (Plus und Minus zu enthalten) zuzuordnen. Der Einsatz von Elementen in unterschiedlichen (aber ähnlichen) Situationen erfordert ein *Prinzip*, nach dem voneinenander unabhängige Situationen als ähnlich eingeordnet werden. Das Prinzip J1 bezieht sich auf die Einschätzung der Ladungsarten als universelle Eigenschaft von Ladung. In (Je12324) hat Jens mit der Eigenschaft der Glimmlampe, unterschiedliche Ladungsarten unterschiedlich anzuzeigen, eine Beziehung zwischen unterschiedlich geladenen Gegenständen hergestellt. Diese Beziehung wird hier erneut eingesetzt. Damit werden zwei strukturelle Veränderungen vorgenommen. Einmal wird eine prinzipielle Beziehung zwischen Situationen hergestellt (die Glimmlampe wird komplexer einsetzbar), und zum anderen wird dem untersuchten Objekt (PVC-Folie)

eine neue Eigenschaft zugeordnet (Träger einer inhomogenen Ladungsverteilung zu sein).

2.3 2. Doppelstunde/Tanja

2.3.1 Die Handlungsorganisation



2.3.2 Handlungsphase 1

20302	:2TIn	:Mit Acryl läßt sich das Leuchten der Lampe sicher erzeugen.
20316	:2TIn	:Werden zwei Polyester-Gegenstände mit unterschiedlichen :Materialien gerieben, ziehen sie sich an.
20325	:2TIn	:Werden zwei unterschiedliche Materialien aneinander gerieben, :ziehen sie sich an.
20407 /20825	:2TIn	:Werden zwei gleiche Materialien aneinander gerieben, ziehen sie sich :an
20505	:2TIn	:Werden zwei gleiche Materialien mit dem gleichen Lappen gerieben, :stoßen sie sich ab.
20515	:2TIn	:Ein mit Graphit besprühter Tischtennisball wird von einer geladenen :PVC-Folie angezogen.
20630	:2TIn	:Geladenes Material zieht ungeladenes an.

Wie auch bei Jens werden von Tanja in dieser Bereitstellungsphase relativ sicher mehrere Versuche der ersten Doppelstunde wiederholt. Der suchende Charakter der ersten Doppelstunde fehlt dabei völlig. Die Handlungen werden von mehreren Beziehungen und Programmen organisiert, die in der ersten Doppelstunde bereits gebildet werden konnten:

1. 11001 : Alle Plastik-Gegenstände können geladen werden.
2. 12304 : Es gibt prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.
3. 11813 : Gleiches stößt sich ab.
4. 10624 : Ladungsnachweis 1
5. 12314 : Ladungsnachweis 2
6. 11021 : Ladungserzeugung 1
7. 12304 : Ladungserzeugung 2

2.3.2 Handlungsphase 2

Die Schüler der Klasse führen die gerade durchgeführten Versuche vor und begründen das Auftreten der Effekte "Leuchten/Nichtleuchten" und "Anziehen/Abstoßen" auf der Ereignisebene. Darüber hinaus werden als Beziehungen formuliert:

(S21018) "Verschiedene Pole ziehen sich an und gleiche Pole stoßen sich ab" und

(L121028) "Also: drei Zustände gibt es offensichtlich' positiv geladen' negativ geladen' und nicht geladen."

Lehrer 1 erwartet von den Schülern eine Erklärung auf einer höheren als der Ereignisebene (L121101).

21106 :2TS :Werden Stoffe gerieben, wird Energie in sie hineingesteckt. Diese
:Energie ist Ursache für Elektrizität (elektrischer Effekt).
:Objekt 1: Stoff
:Objekt 2: Energie
:Objekt 3: Elektrizität
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann übertragen werden
:Eigenschaft 3: verursacht elektrischen Effekt
:Beziehung: Energie ist Ursache für elektrische Effekte.

21122 :2TS :Wärme-Energie entsteht durch chemische Energie.
:Objekt 1: Wärme-Energie
:Objekt 2: chemische Energie
:Beziehung: Eine Energieform ist in andere Energieformen
:umwandelbar.

21206 :2TS :Das Leuchten der Glimmlampe am Ende der Umwandlungskette ist
:auf elektrische Energie zurückzuführen.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: elektrische Energie
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 2: kann aus anderer Energie entstehen
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
:Beziehung: das Phänomen am Ende einer Energieumwandlungskette
:ist kausal auf die Energieumwandlung zu beziehen.
:Prinzip T3 : Umwandelbarkeit ist eine universell einsetzbare
:Beziehung zwischen Energieformen.

Tanja geht, wie schon in (Ta11816), auf die Orientierung durch Lehrer 1 ein. Ihre Handlung hat aber jetzt einen anderen Charakter:

1. Geblieben ist die Notwendigkeit einer Ersatzkonstruktion (s.S.34). Rahmen hierfür ist die oft kommunizierte Erwartung, daß der Lehrer Energiebetrachtung und Energieumwandlungsketten für wichtige Elemente adäquater physikalischer Erklärungen hält und damit zufriedengestellt werden kann.

2. Neues Element ist, daß die Anwendung des Energie-Aspekts für Tanja in dieser Phase eine subjektiv befriedigende (mit geringer Diskrepanz) behaftete Erklärung (die vom Lehrer gefordert wird) ermöglicht:

   (Ta21105)
   "Ja also wenn man diese Stoffe reibt' dann steckt man ja Energie rein und die muß ja irgendwo bleiben."

Die Beziehung "eine Energieform ist in andere Energieformen umwandelbar" wird angewandt. Sie wurde in anderem Unterricht gebildet und eignet sich hier dazu, eine erste Verbindung zwischen der Tätigkeit des Reibens und den daraufhin erfolgenden Ereignissen "Leuchten der Glimmlampe (elektrische Energie (Ta21206))" und "Anziehen/Abstoßen" herzustellen. Die Beziehung wird benutzt, um die verschiedenen Objekte und ihre Eigenschaften (PVC-Folien, reibende Gegenstände, das Reiben selbst und die Wirkung aller Objekte aufeinander) in einer zeitlichen und kausalen Sequenz zu ordnen. Für weitere, nicht orientierte Handlungen, spielt das Prinzip T3 keine weitere Rolle.

(L121402)

Lehrer 1 trägt, ohne Beteiligung der Schüler, sein Modell für den Aufbau der Materie vor. Im Folgenden werden die wesentlichen Elemente des Modells aufgelistet.

1. (L121422)
   Es gibt positive und negative Ladungsteilchen.
   Ein Körper ist negativ geladen heißt: die negativen Teilchen überwiegen.
   Ein Körper ist positiv geladen heißt: die positiven Teilchen überwiegen.
   Ein Körper ist neutral heißt: positive und negative Teilchen befinden sich im Gleichgewicht.

2. (L121429)
   Auf unterschiedlichen Materialien kann unterschiedliche Ladungsart überwiegen.

3. (L121517)
   Im Normalzustand (neutral) sind auf Gegenständen gleich viele negative wie positive Ladungsteilchen vorhanden.

4. (L11423)
   Wenn Materialien unterschiedlich geladen sind, ziehen sie sich an.

5. (L121405)
   Ladungsteilchen sind nicht zu vernichten.

6. (L121520)
   Durch Reiben findet ein Übergang von negativen Teilchen von einem beteiligten Körper auf den anderen statt.

7. (L121526)
   Unterschiedliche Materialien zeigen beim Reiben ein unterschiedliches Ladungsaufnahmeverhalten.

8. (L121603)
   Da gleiche Materialien gleiches Ladungsaufnahmeverhalten zeigen, gibt es beim Reiben keine Aufladung.

9. (L121718)
   Materialien bestehen aus Atomen.
   Atome haben einen Durchmesser von etwa 10^{-8} cm.

Im Zentrum des Atoms befindet sich ein Atomkern.
Ein Atomkerne haben einen Durchmesser von etwa 10^{-12} cm.

10. (L121801)
Das Größenverhältnis ist zu vergleichen mit dem Verhältnis der Größe eines Stecknadelkopfes und eines Fußballfeldes.

11. (L121804)
Atomkerne enthalten positive Teilchen.
Die positiven Teilchen nennt man Protonen.
Atome haben eine Hülle.
Die Atomhülle besteht aus negativen Teilchen.
Die negativen Teilchen nennt man Elektronen.

12. (L121908)
Atome sind nach außen neutral, da sie im Normalzustand eine gleiche Anzahl Protonen und Elektronen enthalten.
(L121809)
Eine PVC-Folie besteht aus vielen neutralen Atomen und ist deshalb im Normalzustand nach außen neutral.

13. (L121815)
Es gibt Kräfte, die verhindern, daß die negativen Elektronen in den positiven Kern stürzen.

14. (L121817)
Die gerade geäußerte Vorstellung ist ein Modell.
Das einfachste Atom, das Wasserstoffatom, besteht aus einem Proton und einem Elektron.

15. (L122004)
Ein Atom mit einzelnen fehlenden Elektronen nenn man Ion.

16. (L122010)
Ein Atomkern fällt nicht auseinander, weil die anziehenden Kernkräfte größer sind als die abstoßenden Kräfte zwischen den gleich geladenen Protonen.

17. (L122107)
Die Elektronen sind verschieb- und austauschbar, die positiven Atomkerne sind ortsfest.

18. (L122218)
    Ein Körper ist negativ geladen, wenn er einen geringen Überschuß an Elektronen besitzt.

19. (L122420)
    Erde kann beliebig viele Elektronen aufnehmen oder abgeben.
    Wird ein geladener Körper geerdet, wird die überschüssige oder fehlende negative Ladung ausgeglichen.

2.3.3 Handlungsphase 3

22125	:2TS	:Werden zwei gleiche Materialien aneinander gerieben, müssen sie :Elektronen ausgetauscht haben, da sie sich hinterher anziehen. :Objekt 1: Material 1 :Objekt 2: Material 1 :Objekt 3: Elektronen :Eigenschaft 1: Material 1 kann gerieben werden :Eigenschaft 2: Material 1 zieht Material 1 an :Eigenschaft 3: Elektronen sind übertragbar :Ereignis: Zwei geladene Materialien ziehen sich an. :Beziehung: Ungleich geladene Gegenstände ziehen sich an. :Programm: Das Programm "Ladungsnachweis 2" (Ta12314) wird :modifiziert. Die Ereignisse "Anziehung und Abstoßung" werden als :Indikator für das Vorhandensein von unterschiedlicher Ladung :eingesetzt. (Ladungsnachweis 3)
22405	:2TI	:Nach dem Reiben bleibt die Ladung auf den Gegenständen erhalten.
22528	:2TIn	:Mit einer geladenen PVC-Folie läßt sich beim Elektroskop etwas :bewirken.
22703	:2TIn	:Eine geladene PVC-Folie kann durch Anfassen entladen werden.
22713	:2TI	:Das Elektroskop kann nur eine Ladungsart anzeigen. :Objekt 1: Elektroskop :Objekt 2: Ladung :Eigenschaft 1: zeigt Ladung an :Eigenschaft 2: kann unterschiedlich sein :Beziehung: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungen.
22722	:2TI	:Der Zeiger des Elektroskops schlägt nicht aus, wenn das Elektroskop :entladen ist.

22725 :2TI :Das Elektroskop kann nur eine Ladungsart anzeigen.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: Ladung
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung an
:Eigenschaft 2: kann unterschiedlich sein
:Beziehung: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungen.

22803 :2TI :Eine PVC-Folie kann positiv oder negativ geladen sein.

22814 :2TI :Wird ein geladener Gegenstand an den Elektroskop-Ring gehalten,
:lädt sich der Ring nicht auf.

22828 :2Th :Eine Polyester-Tüte läßt sich mit einem Lappen aufladen.

22905 :2TS :Werden zwei PVC-Folien aneinander gerieben, läßt sich an einer der
:Folien mit dem Elektroskop Ladung nachweisen.
:Objekt 1: PVC-Folie 1
:Objekt 2: PVC-Folie 2
:Objekt 3: Elektroskop
:Eigenschaft 1: kann durch Reiben an einer PVC-Folie geladen
:werden
:Eigenschaft 2: kann durch Reiben an einer PVC-Folie geladen
:werden
:Eigenschaft 3: zeigt eine Ladungsart an
:Beziehung: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungen.

22909 :2TS :Das Elektroskop kann nur eine Ladungsart anzeigen.
:Objekt 1: Elektroskop
:Eigenschaft 1: kann nur eine Ladungsart anzeigen
:Beziehung: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungen.

22925 :2TI :Wenn ein Gegenstand positiv geladen ist, kann er keinen
:anderen Gegenstand anziehen.

23001 :2Ti :Wenn ein Gegenstand negativ geladen ist, kann er keinen anderen
:Gegenstand anziehen.

23001 :2TI :Wird ein Blatt Papier von einer geladenen Polyester-Tüte angezogen,
:ist die Polyester-Tüte positiv geladen.
:Objekt 1: Polyester-Tüte
:Objekt 2: Blatt Papier
:Objekt 3: positive Ladung
:Eigenschaft 1: ist positiv geladen
:Eigenschaft 2: wird nur von positiver Ladung angezogen
:Eigenschaft 3: bestimmt Verhalten der Gegenstände
:Ereignis: Die geladene Polyester-Tüte zieht ein Blatt Papier an.

23009 :2Ti :Das Elektroskop kann nur positive Ladungen anzeigen.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: Ladung
:Eigenschaft 1: ist Nachweisgerät für eine Ladungsart
:Eigenschaft 2: kann positiv sein
:Ereignis: Der Elektroskop-Zeiger bewegt sich.
:Beziehung: Es gibt positive und andere Ladung.

23130 :2TS :Da positive Ladungen ortsfest sind, kann ein Elektroskop durch
:Kontakt mit einem positiven Gegenstand nicht dauerhaft positiv
:geladen werden.
:Objekt 1: positive Ladung
:Objekt 2: Elektroskop
:Eigenschaft 1: ist ortsfest
:Eigenschaft 2: kann dauerhaft geladen werden

23310 :2TS :Das Elektroskop reagiert deshalb nur auf positive Gegenstände, weil
:nur von positiven Ladungen im Elektroskop etwas (die negativen
:Teilchen, die nicht ortsfest sind) bewegt werden kann.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: Gegenstand
:Objekt 3: negative Teilchen
:Eigenschaft 1: reagiert auf geladene Gegenstände
:Eigenschaft 2: ist positiv geladen
:Eigenschaft 3: sind beweglich
:Beziehung: Ladungen können nur dann etwas Warnehmbares
:bewirken, wenn sie beweglich sind.

23313 :2TS :Von einem negativen Gegenstand werden die positiven Teilchen im
:Elektroskop zwar angezogen, da sie sich aber nicht bewegen können,
:verändert sich nichts, und das Elektroskop zeigt nichts an.
:Objekt 1: Gegenstand
:Objekt 2: positive Teilchen
:Objekt 3: Elektroskop
:Eigenschaft 1: ist negativ
:Eigenschaft 2: sind ortsfest
:Eigenschaft 3: zeigt nur positive Ladung an
:Beziehung: Ladungen können nur dann etwas Warnehmbares
:bewirken, wenn sie beweglich sind.
:Prinzip T4 : Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares
:bewirken, wenn sie beweglich sind.

Das Programm "Ladungserzeugung 2" wird ständig eingesetzt und modifiziert. Obwohl Tanja beide Aspekte negativer und positiver Ladung, ihre Verschiebbarkeit und ihre Ortsfestigkeit kennt, benutzt sie zur Organisierung ihrer Handlung und zur Bildung ihrer Systeme nur die positive Ladung. In dieser Phase ist nicht zu entscheiden, ob zufällig ein, im Sinne physikalischer Adäquatheit, unglücklicher Versuch durchgeführt wurde (etwa, daß alle Gegenstände, die von Tanja für negativ gehalten wurden, zufällig keinen Ausschlag am Elektroskop hervorgerufen haben), oder ob die Gegenstände, die einen Ausschlag hervorrufen konnten, von Tanja von Anfang an nur positiv geladen wahrgenommen wurden. Deutlich wird, daß die Verstrickung in nicht adäquate Beziehungen nicht dazu führt, die Beziehungen zu verändern, sondern ein physikalisch unadäquates, aber im Interaktionszusammenhang konsistentes Prinzip entstehen läßt, mit dem die Handlungen organisiert werden können. Deutlich zu erkennen ist ebenfalls die Entwicklung der verschiedenen Komplexitätsebenen. Das Objekt Ladung z.B., das zunächst nur durch seine Eigenschaft, existent zu sein, von anderen Objekten unter-

schieden wird, kann in der nächsten Ebene durch die Beziehungen "es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungen" und "es gibt positive und andere Ladungen" differenziert wahrgenommen werden. Der Aufbau von Sequenzen gestattet es dann, die Objekte nicht nur zu unterscheiden, sondern ihre jetzt invarianten Merkmale zueinander in Beziehung zu setzen. Dadurch entstehen Terme, in denen die Objekte durch Eigenschaften und Beziehungen geordnet sind. Ein solcher Term ist die Anwendung des Elektroskops als Nachweisgerät für positive Ladungen. Der Term enthält Erwartungen und Wahrnehmungen für alle Situationen, in denen er eingesetzt werden kann und wirkt so strukturierend auf diese Situationen. Es ist noch nicht zu erkennen, ob die hier neu erfahrene Art Ladungen nachzuweisen das Programm "Ladungsnachweis 3" modifiziert.

Die Wirkung von geänderten Bedeutungen einzelner Objekte (Ladung) vermittels der Terme, in die sie eingebunden sind, hat Auswirkungen auf die Bedeutung anderer Objekte. Die PVC-Folie z.B., die in der ersten Doppelstunde die Eigenschaft besaß, aus PVC zu bestehen und einen sehr diffusen elektrischen Effekt herstellen zu können, ist jetzt Träger positiver und anderer Teilchen, die wiederum das Verhalten der PVC-Folie gegenüber anderen Gegenständen bestimmen. Der elektrische Effekt ist ausdifferenziert als die Wirkung der geladenen Gegenstände aufeinander verursacht durch die auf der Oberfläche der Folien befindlichen Ladungen. Veränderbar sind diese Ladungen noch nicht. Sie wirken als konstantes Ensemble, das sich als Ganzes verschieben läßt oder als Ganzes ortsfest ist.

23522 :2Ti :Um die Ladung auf das Elektroskop zu übertragen, muß der geladene
:Gegenstand vorsichtig vom Elektroskop-Teller entfernt werden.

23608 :2TI :Ein positiver Gegenstand nimmt vom neutralen Elektroskop negative
:Teichen auf. Das Elektroskop ist danach positiv geladen.
:Objekt 1: positiver Gegenstand
:Objekt 2: Elektroskop
:Objekt 3: negative Teilchen
:Eigenschaft 1: kann negative Teilchen aufnehmen
:Eigenschaft 2: kann negative Teilchen abgeben
:Eigenschaft 3: sind frei beweglich
:Ereignis: Der Elektroskop-Zeiger bewegt sich.
:Beziehung: Negative Ladungen können von einem Gegenstand zu
:einem anderen wechseln.
:Prinzip T4 : Ladungen können nur dann etwas Warnehmbares
:bewirken, wenn sie beweglich sind.

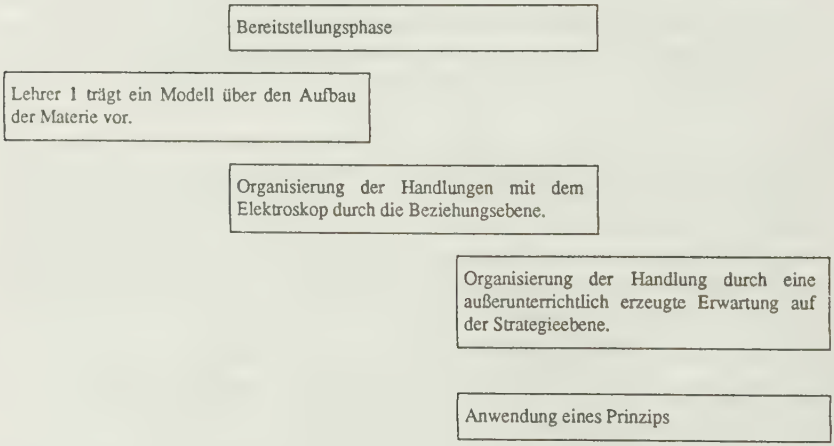
23618 :2Tin :Das Elektroskop läßt sich durch Antippen mit dem Finger entladen.

23713	:2TI	:Das Elektroskop kann keine (negative) Ladung aufnehmen.
23814	:2TI	:Das Elektroskop kann nur positive Ladungen anzeigen.

Zum ersten Mal wird von Tanja, durch eine Anwendung der Beziehung "Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind" wahrgenommen, daß die bewegliche negative Ladung die Polarität der Gegenstände bestimmt. Eine neue Beziehung in diesem Sinn ist an dieser Stelle möglich (noch nicht explizit). Von jetzt an ist die Konkurrenz zweier Beziehungen zu erwarten. Übergeordnet war bisher "Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind" und die damit begründete Eigenschaft des Elektroskops, nur positive Ladungen anzeigen zu können, also eine einseitige Berücksichtigung der Eigenschaft der positiven Ladung, ortsfest zu sein.

2.4 2. Doppelstunde/Jens

2.4.1 Die Handlungsorganisation



2.4.2 Handlungsphase 1

20308	:2JIn	:Eine PVC-Folie läßt sich mit einem Topflappen laden.
20327	:2Jsn	:Es entsteht Anziehung, wenn PVC-Folie und Polyester-Tüte :aneinander gerieben werden.
20410	:2Jhn	:Werden zwei PVC-Folien aneinander gerieben, stoßen sie sich :ab.
20507	:2JS	:Stoßen sich zwei PVC-Folien ab, sind sie gleich geladen.
20620	:2JIn	:Ein Tischtennisball kann durch eine geladene PVC-Folie :abgestoßen (oder angezogen) werden.
20717	:2JIn	:Ein geladener Tischtennisball wird von einem nicht geladenen :graphitierten Tischtennisball angezogen oder abgestoßen.
20720	:2JS	:Ein geladener Tischtennisball und ein nicht geladener graphitierter :Tischtennisball beeinflussen sich nicht.

Wie bei Tanja wird die Handlung dieser Phase durch die in der ersten Doppelstunde gebildeten Erwartungen zu Ereignissen und Beziehungen sowie durch die bereits gebildeten Programme organisiert. Sie ist als Bereitstellungsphase aufzufassen, in der der Schüler die bisher von ihm als gesichert angesehenen Rückkopplungssysteme (Erwartungen - Handlungsergebnisse) aktiviert. Folgende Beziehungen sind aus den Ideen dieser Phase zu konstruieren:

1. 11210 : Strom ist unabhängig von anderen Objekten.
2. 11416 : Ungleiches zieht sich an/Gleiches stößt sich ab.
3. 12307 : Es gibt zwei prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.
4. 12324 : Jede Ladungsart ist einem Glimmfaden zugeordnet.
5. 12510 : Leiter sind Träger von Ladung.
6. 10216 :Ladungsnachweis 1
7. 12309 :Ladungsnachweis 2
8. 11210 :Ladungserzeugung 1
9. 12309 :Ladungserzeugung 2

Der folgende Umgang mit dem Elektroskop bestätigt diese Beschreibung. Handlungen mit dem Elektroskop werden, zunächst wiederum nach einer (kurzen) und eigenschafts- und beziehungsorganisierten Phase vom bereits in der ersten Doppelstunde gebildeten Prinzip J1 (Unterschiedliche Ladungen sind verantwortlich für verschiedene Ereignisse in unterschiedlichen Situationen) organisiert.

2.4.3 Handlungsphase 2

Eine Beteiligung von Jens ist in dieser Phase nicht wahrzunehmen. Er fertigt Hausaufgaben für das Fach Englisch an.

2.4.4 Handlungsphase 3

22627	:2Jh	:Wird ein geriebener Gegenstand auf den Elektroskop-Teller gelegt, :schlägt der Elektroskop-Zeiger aus. :Objekt 1: geriebener Gegenstand :Objekt 2: Elektroskop-Teller :Objekt 3: Elektroskop-Zeiger :Eigenschaft 1: kann geladen sein :Eigenschaft 2: kann geladen werden :Eigenschaft 3: zeigt Ladung an :Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
22702	:2JS	:Wird ein geriebener Gegenstand auf den Elektroskop-Teller gelegt, :schlägt der Elektroskop-Zeiger aus.
22725	:2Jh	:Ein Elektroskop zeigt nur positive Ladung an. :Objekt 1: Elektroskop :Objekt 2: Ladung :Eigenschaft 1: zeigt positive Ladung an :Eigenschaft 2: kann positiv sein :Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht. :Beziehung 1: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungsarten.
12803	:2Jh	:Ein Lappen kann beim Reiben negative Ladung abgeben. :Objekt 1: Lappen :Objekt 2: Ladung :Eigenschaft 1: trägt Ladung :Eigenschaft 2: kann negativ sein :Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht. :Beziehung 1: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungsarten. :Beziehung 2: Ladung ist übertragbar.

Jens benutzt das Objekt "Ladung" von nun an nur noch unter Berücksichtigung der Beziehung 1. Dem Objekt werden also neue Eigenschaften (positiv oder negativ sein zu

können) zugeordnet. Dadurch entstehen neue Objekte (positive und negative Ladung), denen neue Eigenschaften und Beziehungen zugeordnet werden können.

22812	:2JIn	:Ein geriebener Tischtennisball verursacht beim Elektroskop einen :Zeigerausschlag. :Objekt 1: Tischtennisball :Objekt 2: Elektroskop :Eigenschaft 1: kann geladen werden :Eigenschaft 2: zeigt positive Ladung an :Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
22814	:2JS	:Die Ladung auf einem Tischtennisball ist zu gering, um einen :Zeigerausschlag beim Elektroskop zu verursachen. :Objekt 1: Tischtennisball :Objekt 2: Ladung :Objekt 3: Elektroskop-Zeiger :Eigenschaft 1: kann geladen werden :Eigenschaft 2: kann unterschiedlich groß sein :Eigenschaft 3: zeigt positive Ladung an :Beziehung: Ladung kann in unterschiedlichen Mengen vorliegen.
22905	:2JIn	:Ein geriebener Polyester-Becher verursacht beim Elektroskop einen :Zeigerausschlag. :Objekt 1: Polyester-Becher :Objekt 2: Elektroskop :Eigenschaft 1: kann geladen werden :Eigenschaft 2: zeigt positive Ladung an :Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
22907	:2JS	:Ein geriebener Polyester-Becher verursacht beim Elektroskop einen :Zeigerausschlag.
22920	:2JS	:Ein Elektroskop zeigt nur positive Ladung an. :Objekt 1: Elektroskop :Objekt 2: Ladung :Eigenschaft 1: zeigt positive Ladung an :Eigenschaft 2: kann positiv sein :Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht. :Beziehung 1: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungsarten.
22928	:2Jh	:Die positive Polyester-Tüte zieht Papier an.
23011	:2Jh	:Die Funktionsweise des Elektroskops hat etwas mit magnetischen :Feldern zu tun. :Objekt 1: Elektroskop :Objekt 2: magnetisches Feld :Eigenschaft 1: der Zeiger bewegt sich wie eine Magnetnadel (?) :Eigenschaft 2: Magnetische Felder wirken auf Gegenstände.

23110 :2JS :Der Ring des Elektroskops ist mit der Erde verbunden.

23111 :2JS :Der Zeiger und die Zeigeraufhängung des Elektroskops haben keine
:Verbindung zur Erde.

23115 :2JS :Zeiger und Elektroskop-Teller sind leitend miteinander verbunden.

23121 :2Jh :Um das Elektroskop dauerhaft zu laden, muß die Luft in der Nähe des
:Elektroskops geladen werden.

23203 :2JS :Ein Elektroskop zeigt nur positive Ladung an.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: Ladung
:Eigenschaft 1: zeigt positive Ladung an
:Eigenschaft 2: kann positiv sein
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
:Beziehung 1: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungsarten.

23205 :2JI :Wird eine PVC-Folie mit einem Lappen gerieben, nimmt der Lappen
:negative Ladung auf.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Lappen
:Objekt 3: negative Ladung
:Eigenschaft 1: gibt negative Ladungen ab
:Eigenschaft 2: nimmt negative Ladungen auf
:Eigenschaft 3: ist übertragbar
:Beziehung: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungsarten.

23210 :2JI :Die positive Ladung der PVC-Folie wird vom Elektroskop angezeigt.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Elektroskop
:Objekt 3: positive Ladung
:Eigenschaft 1: ist positiv geladen
:Eigenschaft 2: zeigt positive Ladung an
:Eigenschaft 3: wird von Objekt 2 angezeigt
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.

23211 :2JI :Die negative Ladung des Lappens kann vom Elektroskop nicht
:angezeigt werden.
:Objekt 1: Lappen
:Objekt 2: Elektroskop
:Objekt 3: negative Ladung
:Eigenschaft 1: ist negativ geladen
:Eigenschaft 2: kann positive Ladung anzeigen
:Eigenschaft 3: kann übertragen werden
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.

23215 :2Jh :Da positive Ladungen ortsfest sind (auch auf dem Elektroskop),
:können sie von einer negativen Ladung auf dem Elektroskop-Teller
:nicht beeinflußt werden.
:Objekt 1: positive Ladung
:Objekt 2: Elektroskop-Teller
:Objekt 3: negative Ladung
:Eigenschaft 1: ist ortsfest

:Eigenschaft 2: kann negative Ladung tragen
:Eigenschaft 3: ist beweglich
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
:Beziehung 1: Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungsarten.
:Beziehung 2: Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares
:bewirken, wenn sie beweglich sind.

23216 :2JS :Weil das Elektroskop Träger ortsfester positiver Ladung ist, kann es
:negative Ladung nicht anzeigen.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: positive Ladung
:Objekt 3: negative Ladung
:Eigenschaft 1: enthält (im neutralen Zustand) positive Ladung
:Eigenschaft 2: ist ortsfest
:Eigenschaft 3: ist beweglich
:Beziehung: Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares
:bewirken, wenn sie beweglich sind.
:Prinzip J2 : Die Beziehung wird benutzt, um eine Kette von
:Handlungen zu organisieren. So wird aus allen beteiligten Objekten
:und ihren Eigenschaften eine Sequenz hergestellt, die der
:Verifizierung des Prinzips dienen.

Das Programm "Ladungserzeugung 2" wird ständig eingesetzt.

Diese Handlungsphase ist davon bestimmt, daß Beziehungen zu neuen Objekten führen und für diese Objekte neue Eigenschaften konstruiert werden können. Die Beziehung "es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungsarten" differenziert Ladung in "positive" und "negative", und die Beziehung "Ladung ist übertragbar" ordnet den neuen Objekten die Eigenschaften zu, "ortsfest" bzw. "verschiebbar" sein zu können. Daß diese Objekte und Eigenschaften verfügbar und in dieser Situation aktiviert werden können, liegt an der Einführung der Begriffsnamen und einiger Eigenschaften durch den Lehrer (s.S. 124) am Anfang der Stunde. Der Lehrer konstruiert seine Eigenschaften und Beziehungen dabei von einer höheren Wahrnehmungsebene als die beiden Schüler. Denkbar wäre, daß der Lehrer eine in der Physikergemeinde kommunizierte Systemebene anwendet, während bei den Schülern das Beziehungstiften zwischen Objekten und ihren Eigenschaften dominiert und nicht etwa Syteme im subjektiven Erfahrungsbereich "Erfahrung mit Elektrostatik" das Handeln organisieren.

Die von beiden Schülern neu konstruierten Objekte und ihre invarianten Eigenschaften determinieren die variablen Eigenschaften der Gegenstände, auf denen sie durch Reibung erzeugt oder (die negative Ladung) durch Übertragung aufgebracht werden können. Latent vorhanden ist die Eigenschaft der Veränderbarkeit des Betrags der Ladung.

In dieser Handlungsphase ist außerdem der erste Aufbau eines Prinzips J2 zu erkennen. In (Je22915) wird dem Elektroskop die Eigenschaft zugewiesen, nur positive Ladung anzeigen zu können.:

1. Positive Ladungen sind ortsfest.
2. Weil positive Ladungen ortsfest sind, können sie von negativen Ladungen nicht beeinflußt werden.
3. Ladungen haben nur dann Einfluß auf die Gegenstände, wenn sie sich bewegen.
4. Das Elektroskop enthält ortsfeste positive Ladungen und kann deshalb keine negativen Ladungen anzeigen.
5. Weil das Elektroskop nur positive Ladung anzeigt, muß die mit einem Lappen geriebene PVC-Folie positiv sein.
6. Weil die PVC-Folie positiv ist, muß der Lappen negative Ladung von der PVC-Folie herunternehmen.
7. Weil der Lappen negative Ladung aufgenommen hat, ist er negativ geladen.
8. Weil das Elektroskop nur positive Ladung anzeigt, darf der Zeiger nicht ausschlagen, wenn der Lappen auf den Elektroskop-Teller gelegt wird.

Der Aufbau der Sequenz durch die Anwendung der zum Prinzip entwickelten Beziehung "Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind" wird durch die parallel zur Beschreibung durchgeführten Handlung unterstützt. Jens legt den Lappen auf den Elektroskop-Teller (Je23210) und nimmt keinen Zeigerausschlag wahr. Die Strategie J2 bestimmt die Diskrepanz zwischen Erwartung und Wahrnehmung so, daß Jens den Versuch nicht wiederholt. Die Wahrnehmungssicherheit ist so groß, daß kein weiterer Handlungsbedarf besteht.

Während der Handlungsphase 3 werden ebenfalls Invarianzen bezüglich der Eigenschaften des Elektroskops gebildet (Je23110) - (Je23121)

23226 :2Jh :Der Elektroskop-Zeiger müßte sich bei positiver und negativer
:Ladung in die entgegengesetze Richtung bewegen.
:Objekt 1: Elektroskop-Zeiger
:Objekt 2: Ladung

:Eigenschaft 1: kann nur nach rechts ausschlagen
:Eigenschaft 2: kann positiv oder negativ sein
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
:Beziehung: Beim Messen von Elektrizität (Spannung, Strom,
:Ladung) muß die Polung am Meßgerät beachtet werden.

23329 :2Jh :Wird ein graphitierter, mit einem Tuch geriebener Tischtennisball auf
:den Elektroskop-Teller gelegt, zeigt das Elektroskop etwas an.
:Objekt 1: graphitierter Tischtennisball
:Objekt 2: Tuch
:Objekt 3: Elektroskop
:Eigenschaft 1: läßt sich laden
:Eigenschaft 2: bewirkt Ladung
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.

23421 :2JI :Wird eine geriebene PVC-Folie auf den Elektroskop-Teller gelegt,
:zeigt das Elektroskop an.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Tuch
:Objekt 3: Elektroskop
:Eigenschaft 1: läßt sich laden
:Eigenschaft 2: bewirkt Ladung
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.

23512 :2JIn :Durch Berühren des geladenen Elektroskops wird es entladen.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: Hand
:Eigenschaft 1: kann geladen sein
:Eigenschaft 2: leitet
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.

23523 :2JI :Wird eine geladene PVC-Folie auf den Elektroskop-Teller gelegt und
:wieder abgehoben, bleibt der Zeigerausschlag erhalten.
:Objekt 1:geladene PVC-Folie
:Objekt 2: Elektroskop
:Eigenschaft 1: gibt Ladung ab
:Eigenschaft 2: nimmt Ladung auf
:Ereignis: Der Elektroskop-Zeiger zeigt an und bewegt sich nicht in
:die Ausgangsstellung zurück.
(Dieser Versuch wird mehrfach wiederholt)

23615 :2JS :Durch Berühren des Elektroskop-Tellers wird ein Kontakt zur Erde
:hergestellt.
:Objekt 1: Elektroskop-Teller
:Objekt 2: Hand
:Objekt 3: Erde
:Eigenschaft 1: gibt Ladung ab
:Eigenschaft 2: leitet
:Eigenschaft 3: nimmt Ladung auf
:Ereignis: Der Elektroskop-Zeiger zeigt an und bewegt sich in die
:Ausgangsstellung zurück.

23710 :2JS :Nur negative Ladung kann von einem Gegenstand auf den anderen
:übertragen werden.
:Objekt 1: Gegenstand 1
:Objekt 2: Gegenstand 2
:Objekt 3: negative Ladung
:Eigenschaft 1: gibt negative Ladung ab
:Eigenschaft 2: nimmt negative Ladung auf
:Eigenschaft 3: ist beweglich
:Beziehung: negative Ladung ist beweglich, positive Ladung ist
:ortsfest
:Prinzip J3 : Die Beziehung "negative Ladung ist beweglich, positive
:Ladung ist ortsfest" kann durch Einsatz in unterschiedlichen
:Situationen Objekte und Eigenschaften ordnen, die Träger von
:Ladung sind.

23717 :2Jh :Wird eine positive PVC-Folie auf den Elektroskop-Teller gelegt, gibt
:das Elektroskop negative Ladungen ab.
:Objekt 1: PVC-Folie
:Objekt 2: Elektroskop
:Objekt 3: negative Ladung
:Eigenschaft 1: ist positiv geladen
:Eigenschaft 2: ist Träger negativer Ladung
:Eigenschaft 3: ist beweglich
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
:Beziehung: Negative Ladung ist beweglich, positive Ladung ist
:ortsfest.
:Prinzip J3 : Die Beziehung "negative Ladung ist beweglich, positive
:Ladung ist ortsfest" kann durch Einsatz in unterschiedlichen
:Situationen Objekte und Eigenschaften ordnen, die Träger von
:Ladung sind.

23820 :2JS :Das Elektroskop zeigt einen Überschuß an positiven Ladungen an.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: positive Ladung
:Eigenschaft 1: zeigt positive Ladung an
:Eigenschaft 2: kann angezeigt werden
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops bewegt sich/bewegt sich nicht.
:Beziehung 1: Geladen sein heißt, von einer Ladungsart ist ein
:Überschuß vorhanden.
:(Prinzip J4) : Geladene Gegegenstände werden in allen Situationen
:mit der Beziehung zwischen positiven und negativen Ladungen
:geordnet.

23826 :2JS :Wird eine geladene PVC-Folie auf den Elektroskop-Teller gelegt und
:wieder abgehoben, bleibt der Zeigerausschlag erhalten.
:Objekt 1:geladene PVC-Folie
:Objekt 2: Elektroskop
:Eigenschaft 1: gibt Ladung ab
:Eigenschaft 2: nimmt Ladung auf
:Ereignis: Der Elektroskop-Zeiger zeigt an und bewegt sich nicht in
:die Ausgangsstellung zurück.
:Beziehung: Durch Übertragung von negativen Ladungen wird ein
:Überschuß einer der Ladungsarten hergestellt.

:Prinzip J5: Die beiden Beziehungen "Geladen sein heißt, von einer
:Ladungsart ist ein Überschuß vorhanden" und "negative Ladung ist
:beweglich, positive Ladung ist ortsfest" werden zu einem Prinzip
:verbunden: die Verschiebbarkeit negativer Ladung bestimmt die
:elektrische Eigenschaft geladener Gegenstände.

23909 :2JI :Wird ein graphitierter Tischtennisball auf den Teller eines geladenen
:Elektroskops gelegt, wird das Elektroskop entladen.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: graphitierter Tischtennisball
:Objekt 3: negative Ladung
:Eigenschaft 1: gibt Ladung ab
:Eigenschaft 2: nimmt Ladung auf
:Eigenschaft 3: ist beweglich
:Ereignis: Der Elektroskop-Zeiger schlägt aus und bewegt sich in
:kleinen Schritten gegen die Nullstellung.
:Beziehung: Ladung kann in unterschiedlichen Mengen vorliegen und
:unterteilt werden (Je22814)

Die Beziehung "Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind" wird angewandt (Prinzip J2) und dabei zu "negative Ladung ist beweglich, positive Ladung ist ortsfest" verändert. Grundlage für das Prinzip J3 ist nicht mehr nur ein erwartetes visuelles Ereignis, sondern ein Konstrukt mit großem Abstand von der Ereignisebene. Es ist zu erkennen, daß das erste Element dieses Prinzips, die Beweglichkeit der negativen Ladung, bei der Organisierung der Handlung eine große Rolle spielt und verantwortlich für den weiteren Ausbau des Systems von Beziehungen wird. Die Ortsgebundenheit der positiven Ladung wird dagegen immer unbedeutender. Die Beziehung von Prinzip J4 in (Je23826) läßt eine neue Ordnung der Objekte erkennen. Die Beziehungen "geladen sein heißt, von einer Ladungsart ist ein Überschuß vorhanden" und "negative Ladung ist beweglich, positive Ladung ist ortsfest" ordnen alle geladenen Gegenstände bezüglich der Verschiebbarkeit negativer Ladung und werden zum neuen Prinzip J5 (die Verschiebbarkeit negativer Ladung bestimmt die elektrische Eigenschaft geladener Gegenstände) verdichtet. Es ist zu erkennen,daß nun alle bisher erlebten Situationen zu einer Klasse zusammengefaßt und Handlungen in ihr organisiert werden können. Die Anzeige des Elektroskops wird als Indikator für einen Überschuß von Ladungen konstruiert.

Der Ausbau der *Beziehungen* zu einem *Prinzip* gelingt, obwohl die Beziehung, die in (J123316) angewandt wird, physikalisch nicht adäquat ist. Wegen dieser Beziehung wird von Je erwartet, daß das Meßgerät "eigentlich" nach beiden Seiten ausschlagen müßte (es wird nicht deutlich, ob Jens wahrnimmt, daß die Bauart des Geräts nur eine Bewegung des Zeigers in eine Richtung zuläßt). Da negative Ladungen vom Elektroskop aber nicht angezeigt werden können (Je23216), ist die wahrgenommene einseitige

Bewegungsrichtung des Zeigers hierzu kein Widerspruch. Die Konstruktion eines Prinzips gelingt dadurch, daß alle Wahrnehmungen so konstruiert werden, daß sie den gerade genannten Erwartungen nicht widersprechen.

Wie bei Tanja kann nicht festgestellt werden, ob das Programm "Ladungsnachweis 2" modifiziert oder ob das Elektroskop zunächst als situativ gebundenes Instrument zum Nachweis (positiver) Ladungen benutzt wird.

2.5 Die Konstruktion des subjektiven Erfahrungsbereichs "Erfahrungen mit Elektrostatik"

Kurzzeitig besteht bei Tanja und Jens die Tendenz, einen neuen subjektiven Erfahrungsbereich "Erfahrungen mit dem vom Lehrer eingeführten Gerät" neu zu konstruieren, der nur durch die Tatsache mit gerade gebildeten Objekten und ihren Eigenschaften verbindbar ist, daß die Schüler erwarten, daß ein Lehrer in einer laufenden Unterrichtseinheit keine Gegenstände einführt, die nicht mit dieser Einheit zu tun haben. Die Lernumgebung führt dazu, daß die Handlungen mit dem Elektroskop, nach der ersten Phase der Unsicherheit, von Ideen organisiert werden, die im Laufe des Unterrichts gebildet wurden. Es besteht in der neuen Situation keine Notwendigkeit mehr, einen neuen subjektiven Erfahrungsbereich zu initiieren, das Elektroskop wird als neue Erfahrung in den bestehenden integriert und über Beziehungen, die alle anderen Objekte ebenfalls strukturieren, in den gerade aktivierten subjektiven Erfahrungsbereich eingebunden. Dies ist ohne Schwierigkeiten möglich, da Jens und Tanja bereits die Übertragbarkeit von Ladung (Elektrizität) auf metallische Gegenstände erfahren haben. Der neue Gegenstand kann also mit Handlung leitenden Eigenschaften und Beziehungen geordnet werden und erzeugt zunächst keinen Widerspruch zu bisher bereits gebildeten.

2.5.1 Zusammenfassung der Verhaltensanalyse einer Schülerin in den ersten beiden Doppelstunden

Die erste Handlungsphase der ersten Doppelstunde

Plastik	Lappen (Kunst /Naturfaser	Glimmlampe		Ladung
kann geladen werden	kann laden	Programm:Ladungsnachweis 1		kann nachgewiesen werden
Programm: Ladungserzeugung 1 (Ta11021)		Eigenschaft: Glimmlampe ist geteilt.		ist an Gegenstände gebunden
(Ta12304) Alle Gegenstände auf die die Programme angewandt werden können, werden in einer Klasse zusammengefaßt. Zwischen ihnen wird eine neue Beziehung hergestellt.				
Beziehung:Alle Gegenstände aus Plastik können durch Reiben mit einem Lappen aus Kunst- oder Naturfaser geladen werden.				

Tanja ordnet den Objekten Eigenschaften zu. Eine besondere Funktion haben die beiden wirksam werdenden Programme. Sie haben eine einfachere Struktur als die 7. Wahrnehmungsebene von POWERS, sind aber dennoch Handlungsterme, die immer ähnlich angewandt werden. Das Programm "Ladungsnachweis" ist durch die Orientierung des Lehrers entstanden, das Programm "Ladungserzeugung" ebenfalls durch die Orientierung des Lehrers und dadurch, daß die ersten Handlungen in dieser Handlungsphase durch einen subjektiven Erfahrungsbereich "Erfahrungen mit geladenem Plastik" organisiert wurde. Dieser subjektive Erfahrungsbereich ist vor dem Unterricht entstanden. Das Objekt "Ladung" ist Bestandteil der Gegenstände und bestimmt so ihre Eigenschaften. Das Ereignis "Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht" ist Kontrollelement für die Eigenschaft der Gegenstände "geladen zu sein" und für die neu gebildete Beziehung. Diese am Ende der Handlungsphase gebildete Beziehung ordnet die Objekte relativ zueinander und weist ihnen die Eigenschaft der gebildeten Klasse zu, geladen werden oder das Ereignis herbeiführen zu können.

Die zweite Handlungsphase der ersten Doppelstunde

Tischtennis-ball	PVC-Folien/ Plastikgegen-stände	Lappen/ Gegenstände zum Laden	Glimmlampe	Ladung
	Programm:Ladungserzeugung 1			
Das Ereignis Anziehung/Abstoßung bestätigt die Eigenschaft, geladen zu sein			Programm:La-dungsnachweis 1	kann nachge-wiesen werden
			Hat zwei Glimmfäden	ist an Gegenstände gebunden
(Ta11813) Unterschiedliche Ereignisse (Abstoßung und Anziehung) initiieren eine Differenzierung der Objekte in gleich/unterschiedlich.			(Ta12314) Programm: Ladungsnach-weis 2	Es gibt zwei unter-schiedliche La-dungsarten
(Ta12304) Programm: Ladungserzeugung 2				

Die Differenzierung der Glimmlampe (zwei Glimmfäden) führt über das Programm"Ladungsnachweis 2" zu einer neuen Eigenschaftszuordnung bei der Ladung.
Die Glimmfäden werden durch die Ereignisse "Anziehung/Abstoßung der neuen Objekteigenschaft "gleich/ungleich" zugeordnet. Die Objekteigenschaft differenziert die Klasse der zu ladenden Gegenstände und modifiziert das Programm Ladungerzeugung 1.

Bereits in der zweiten Handlungsphase wird die Komplexität der zu untersuchenden Strukturen deutlich. Durch weitere Erfahrungen mit den in der Lernumgebung enthaltenen Objekten werden die Programme modifiziert. Dies führt zu einer neuen Eigenschaftszuordnung. Die Objekte ändern ihre Struktur. Die Eigenschaft der Glimmlampe, geteilt zu sein, und die neue Erfahrung, daß geladene Gegenstände eine Kraftwirkung aufeinander haben, eröffnet die Möglichkeit, Ladung als von den Gegenständen unabhängiges Objekt mit eigenen Eigenschaften zu konstruieren.

Die dritte Handlungsphase der zweiten Doppelstunde

Materie		Ladung		Elektroskop
+	-	Elektron	Proton	zeigt an, ob ein Gegenstand positiv ist
Beziehung: Plus und Minus zieht sich an				
Negative Ladungen können übertragen werden.		negative sind beweglich	positive sind ortsfest	
Negative Ladungen sind unabhängig vom Gegenstand, dessen Eigenschaft sie bestimmen.		Neue Eigenschaft: positive bewegt negative Ladung negative bewegt nicht positive Ladung		

Unterstützt durch die Orientierung durch den Lehrer kann Tanja an die Strukturbildung der letzten Stunde anschließen. Die Trennung der Ladung von anderen Gegenständen, die Konstruktion der Ladung als eigenständiges Objekt wird in dieser Handlungsphase durchgeführt. Dem Objekt "Ladung" werden sofort Eigenschaften zugeordnet, die die Eigenschaften der anderen Objekte (PVC-Folie, Elektroskop) bestimmen. Damit wird zwischen allen Objekten eine Beziehung hergestellt. Die in den ersten beiden Handlungsphasen zu erkennenden Programme dienen immer noch der Handlungsorganisation. Sie werden aber nicht mehr verändert und deshalb nicht mehr erwähnt.

Die bis hierher konstruierte Struktur ist physikalisch nicht adäquat, widerspricht aber der Logik Tanja's nicht. Alle bisher gemachten Erfahrungen (Erwartungen, Ereignisse) können konsistent erklärt werden.

2.5.2 Zusammenfassung der Verhaltensanalyse eines Schülers in den ersten beiden Doppelstunden

Die erste Handlungsphase der ersten Doppelstunde

PVC-Folie	Lappen	Glimmlampe		Ladung
kann geladen werden	kann laden	kann Ladung nachweisen		kann nachgewiesen werden
alle Plastikgegenstände	Kunst-/Naturfasern	(Je10216) Programm: Ladungsnachweis 1		ist an Gegenstände gebunden
(Je11210)Programm: Ladungserzeugung 1		Alle Gegenstände, auf die die Programme anwendbar sind, werden in einer Klasse zusammengefaßt. (Je11210)		
Zwischen allen Objekten wird die Beziehung hergestellt: alle Gegenstände aus Plastik können geladen werden				

In der ersten Handlungsphase ist kein Strukturunterschied zwischen Jens und Tanja erkennbar. Das läßt darauf schließen, daß die anfänglichen Randbedingungen (Konstrukte des eingesetzten subjektiven Erfahrungsbereichs und Konstrukte, die durch die Orientierung des Lehrers ausgelöst wurden) für beide Schüler ähnlich sind. Zumindest führen sie zu ähnlichen Handlungen und gemeinsamen Handlungszielen.

Die zweite Handlungsphase der ersten Doppelstunde

geladene Gegenstände	Folien	Lappen,andere Gegenstände		Ladung
Programm: Ladungserzeugung 1				kann nachgewiesen werden
Eigenschaft: Gegenstandsgebundene Anziehung und Abstoßung				
(Je11416) Die Objekte werden in ungleich/gleich bzw. Leiter/Nichtleiter differenziert.			Programm: Ladungsnachweis 2	ist abhängig von Gegenständen
(Je12307) Die Differenzierung der Objekte führt über die Anwendung der Programme zur Konstruktion neuer Ladungseigenschaften.				Es gibt zwei unterschiedliche Ladungsarten

Jens entwickelt in dieser Handlungsphase die Vorstufe zu einem neuen unabhängigen Objekt "Ladung". Zwar ist Ladung noch gegenstandsgebunden, durch die Zuordnung

der Eigenschaften "Plus" und "Minus" wird aber eine grundlegend neue Konstruktion ermöglicht. Eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der Struktur spielen die Ausformung des Programms "Ladungserzeugung" und die Erwartung, daß zwischen geladenen Gegenständen Kräfte wirken. Es ist nicht zu entscheiden, wie diese Erwartung erzeugt wurde. Anzunehmen ist, daß sie vor dem Unterricht entstanden ist und durch den Eingangsversuch des Lehrers aktiviert wurde.

Die dritte Handlungsphase der zweiten Doppelstunde

<table>
<tr><td>Materie</td><td colspan="2">Ladung</td><td>Elektroskop</td></tr>
<tr><td>+ | -</td><td>Elektron</td><td>Proton</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">Beziehung: Plus und Minus zieht sich an</td><td>zeigt an, ob ein Gegenstand positiv ist</td></tr>
<tr><td>Negative Ladungen können übertragen werden.
Negative Ladungen sind unabhängig vom Gegenstand, dessen Eigenschaft sie bestimmen.</td><td>negative sind beweglich</td><td>positive sind ortsfest</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Neue Eigenschaft:
positive bewegt negative Ladung
negative bewegt nicht positive Ladung</td><td></td></tr>
</table>

Wieder ist eine ähnliche Struktur aus dem Verhalten zu konstruieren wie bei Tanja. Die gute Zusammenarbeit beider Schüler und ähnliche Randbedingungen ergeben einen konsensuellen Bereich, in dem ähnliche Handlungsziele generiert und verfolgt werden. Dabei ist festzustellen, daß sich Jens und Tanja wechselseitig auf die Verfolgung der Handlungsziele des anderen einlassen.

2.5.3 Elemente, die die Entwicklung einer Struktur fördern

In der 2. Handlungsphase der 1. Doppelstunde (s.S. 110) wird von Jens eine Einteilung der Gegenstände in Leiter und Nichtleiter vorgenommen (siehe IV/2.5.5). Diese Eigenschaft hat in der gesamten Handlungsphase Handlung leitende Funktion und stellt die letzte Stufe der Gegenstandsgebundenheit der bis dahin bekannten elektrischen Eigenschaften dar. Die Beziehungen (Leiter und Nichtleiter ziehen sich an u.s.w.) werden durch eine Vielzahl von Versuchen immer wieder in Frage gestellt und letzten Endes leicht durch die Beziehung (Plus - Minus ziehen sich an) ersetzt. Ersetzen heißt hier, daß die eine Beziehung statt der anderen für die folgenden Handlungen organisierend

wirksam wird. Konkret ist in diesem Zusammenhang außerdem festzustellen, daß die ersetzte Beziehung im kommenden Unterricht nicht mehr zu erkennen ist, sie also für ähnliche Situationen "vergessen" wurde.

Die Beziehung (Plus/Minus) ist nicht in diesem Unterricht und nicht in für sie ähnlichen Situationen entstanden (ähnliche Situationen wie in diesem Unterricht hat es für diesen Schüler außerhalb des Unterrichts bisher nicht gegeben). Sie kann deshalb leicht in den gerade aktivierten subjektiven Erfahrungsbereich integriert werden, weil es Jens mit dieser Idee gelingt, alle in der erste Doppelstunde durchgeführten Handlungen für sich adäquat zu erklären, seine Erwartungen also den Ereignissen anzupassen. Daß die Anpassung und diese Erklärungen nicht expliziert werden, spielt dabei keine Rolle. Die neue Beziehung besitzt schon von ihrem ersten Einsatz in diesem Unterricht an eine große Erklärungsmächtigkeit, deren Ursprung nicht mehr rekonstruiert werden kann. Sie generiert, ohne überprüft zu werden, neue Handlungsziele.

Eine weitere, bei beiden Schülern bereits vorhandene Erfahrung ist die Beachtung der Leitfähigkeit eines Körpers bei der Durchführung der Versuche. Zunächst werden von beiden Schülern nur Kunststoffe untersucht. Es wird erwartet, daß sich diese Materialien laden (elektrisieren) lassen, obwohl sie von Tanja und Jens ohne zu zögern angefaßt werden. Beim ersten Versuch, eine Aluminium-Platte zu laden, wird von beiden Schülern die Eigenschaft Handlung leitend eingesetzt, daß Metalle Ladung (Elektrizität) zur Masse (Erde) ableiten. Durch die gesamte Unterrichtseinheit werden Handlungen von dieser Beziehung mitorganisiert.

Es gibt im Laufe des Unterrichts viele solcher außerhalb des Unterrichts entstandener Elemente, die ohne erkennbare Schwierigkeit immer dann in den subjektiven Erfahrungsbereich "Erfahrungen mit Elektrostatik" integriert werden, wenn Ordnung stiftende Beziehungen vorhanden sind, die auch auf diese Objekte und ihre Eigenschaften angewandt werden können oder eine so integrierte Beziehung die nächste Handlung konsistent organisieren kann. Die Anwendung einer nicht im Unterricht entstandenen Strategie war bisher nicht feststellbar.

Die orientierenden Elemente, die nicht erkennbar von der Schülerin/dem Schüler konstruiert wurden, können unterschiedlichen Ursprung haben. Sie können, wie im geschilderten Fall, als Elemente anderer subjektiver Erfahrungsbereiche bereits latent vorhanden sein oder vom Lehrer oder von anderen Schülern angeboten werden.

2.5.4 Elemente, die die Entwicklung einer Struktur hemmen

Jens hat außerhalb dieser Unterrichtseinheit offensichtlich die Erfahrung gemacht, daß elektrische Meßgeräte, je nach Polung, von einer Mittelstellung nach beiden Seiten anzeigen können. Er verbindet "positiv" mit "Zeiger schlägt nach rechts aus" und "negativ" mit "Zeiger schlägt nach links aus". Dies führt im Verlauf der Beschäftigung mit dem Elektroskop und den Versuch der Erklärung seiner Funktionsweise zu Komplikationen. Jens geht davon aus, daß das Elektroskop, weil der Zeiger nur nach rechts ausschlagen kann, nur positive Ladungen anzeigt und nimmt zunächst alle Versuchsergebnisse unter diesem Gesichtspunkt wahr.

In dieser Stunde wurde vorher von Jens und Tanja die Glimmlampe als Gerät zur Überprüfung der Polarität entwickelt und, mit Hilfe des Lehrers, die Konstruktion des Elektroskops geklärt (Elektroskop-Teller, Aufhängung und Zeiger sind leitend verbunden und gegen Masse isoliert).

Jens muß also eigentlich seine ursprünglich angewandte Beziehung aufgeben. Die mitgebrachte Erfahrung mit Meßgeräten scheint aber so wichtig zu sein, daß dies sogar nach dieser selbst vorgenommenen Verknüpfung der genannten Elemente nicht leicht möglich ist.

2.5.5 Einflüsse anderer Schüler und des Lehrers auf die Bildung einer Struktur

Ein weiterer Aspekt bei der Beurteilung von Lernprozessen wird deutlich:

Der konservative Einsatz einer nicht tragfähigen Beziehung/Eigenschaft kann unter Umständen nicht dadurch verhindert werden, daß die in der entsprechenden Situation adäquate Idee von anderen genannt wird.

1. Durch einen Zufall gelingt es Tanja in der 1. Doppelstunde, die Glimmlampe als Nachweisgerät für Ladung einzusetzen, indem sie sie am Glas festhält. (Ta13022). Jens übernimmt diese Idee (Je13120) und versucht immer wieder, die Glimmlampe entsprechend einzusetzen. Sein subjektiver Erfahrungsbereich enthielt die Erwartung: "Die Glimmlampe leuchtet auch, wenn sie am Glas und nicht am ableitenden Metallteil gehalten wird". Bei größerem Abstand von der Folie, mit einem zwischen Folie und Glimmlampe geschalteten Kabel, war dieser Effekt so nicht mehr zu erzielen. Eindringliche Hinweise einer anderen Schülerin, daß die Glimmlampe an der freien Metallkappe festzuhalten sei, wurden nicht beachtet. Es ist davon auszugehen, daß Jens im vorangegangenen Unterricht einen subjektiven

Erfahrungsbereich gebildet hatte, in dem folgende Erwartungen vorhanden waren und auch heute noch, bei Aktivierung dieses subjektiven Erfahrungsbereichs, vorhanden sind:

a) Um eine Lampe zum Leuchten zu bringen, muß ein geschlossener Stromkreis aus Leitern existieren.

b) Glas ist ein Nichtleiter.

Diese Erwartungen wurden in dieser Handlungsphase vom Schüler nicht aktiviert, weil der für die Handlung in dieser Phase zuständige subjektive Erfahrungsbereich zweifache Abgeschlossenheit erkennen ließ:

c) Die fehlende strukturelle Verbindung der Elemente des neuen subjektiven Erfahrungsbereichs untereinander erschwert eine Verbindung zu anderen, bereits bestehenden subjektiven Erfahrungsbereichen.

d) In der eigenen Handlung gefestigte Erwartungen sind Ausgangselemente zur Erhöhung der Wahrnehmungssicherheit. Verhaltensbeeinflussung kann deshalb nur dann stattfinden, wenn durch die Übernahme in das Repertoire der eigenen Erwartungen die Wahrnehmungssicherheit subjektiv erhöht würde.

2. Erst am Ende der 1. Doppelstunde gelingt es Jens, eine andere Beziehung in Bezug auf den Einsatz der Glimmlampe in dieser Situation zu konstruieren. Entsprechend verändert sich seine Erwartung bezüglich des Einsatzes der Glimmlampe in dieser Situation, aber nicht darüber hinaus.

   Trotz dieser von Jens vorgenommenen Umorientierung setzt Tanja die Glimmlampe weiterhin nicht der Funktion entsprechend ein. Allerdings geschieht der Einsatz ebenfalls immer situationsadäquat direkt an der PVCFolie, führt also nicht zu unadäquaten Handlungen und Schlußfolgerungen.

   Obwohl also Jens die Änderung seiner Beziehung und Erwartung zu erkennen gibt, kann Tanja eine neue Beziehung nicht konstruieren.

3. In einer lehrerzentrierten Phase der 2. Doppelstunde (2. Handlungsphase) wurde vom Lehrer ein Atommodell eingeführt (s.S. 122). Die Schüler/innen sollten in die Lage versetzt werden, ihre folgenden Handlungen auf höheren Ebenen als bisher zu organisieren. Bei Tanja und Jens war eine Orientierung durch den Lehrer in den folgenden Handlungsphasen nicht eindeutig festzustellen. Anzunehmen ist, daß die Nennung zweier unterschiedlicher Ladungen als Bestandteil der Atome (s.S. 124)

durch den Lehrer dazu geführt hat, daß Ladung als von den Gegenständen unabhängiger Gegenstand mit bestimmten Eigenschaften (Plus und Minus) akzeptiert wurde. Denkbar ist aber auch, daß diese Entwicklung unabhängig vom Lehrer vollzogen wurde, da die Eigenschaften "Plus" und "Minus" sehr wahrscheinlich schon in früherem Unterricht oder anderswo (im Umgang mit Batterien im Haushalt) gebildet wurden. Die lehrerzentrierte Phase hätte dann lediglich die Aufmerksamkeit auf bereits vorhandene Elemente gelenkt.

Ein weitergehender Einfluß der Orientierung durch den Lehrer in Handlungsphase 2 der 2. Doppelstunde ist nicht festzustellen.

3. Die Veränderung des Objekts "Ladung" bei einer Schülerin

Eine weitere Analyse der Entwicklung aller Handlung leitenden Ideen wäre zu umfangreich. Sie muß deshalb weiteren Arbeiten vorbehalten bleiben. Ich werde im folgenden die Entwicklung des Objektes Ladung durch alle 13 Doppelstunden für Tanja verfolgen und dabei den Aspekt berücksichtigen, daß die Bildung von Strukturen einerseits situationsgebunden ist und andererseits abhängig ist von der Entwicklung des die Handlung einer Situation jeweils organisierenden subjektiven Erfahrungsbereichs. Für diese Analyse werden nur noch die hierfür relevanten Ideen der jeweiligen Profile und die schriftlichen oder mündlichen Orientierungen des Lehrers aufgenommen.

3.1 3. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

30115	:TS	:Ein Körper ist neutral, wenn er genausoviele Elektronen wie Positive :(Protonen) besitzt. :Objekt 1: Körper :Objekt 2: negatives Elektron :Objekt 3: positives Proton :Eigenschaft 1: ist Träger von Ladung :Eigenschaft 2: hat eine bestimmte Quantität :Eigenschaft 3: hat eine bestimmte Quantität :Beziehung: Der Vergleich der Ladungsmengen (Eigenschaften 2 und :3) differenziert Eigenschaft 1.
30216	:Ts	:Ein Körper ist positiv geladen, wenn er Elektronen :an einen Körper abgegeben hat und somit die Positiven überwiegen. :Beziehung: Der Vergleich der Ladungsmengen (Eigenschaften 2 und :3) legt Eigenschaft 1 fest.
30310	:TS	:In den Stoffen ist Elektrizität vorhanden, weil die Glimmlampe :aufglimmt.

30321 :TS :Wenn man in elektrischer Hinsicht unterschiedliche Körper :aneinander reibt, gibt ein Stoff Elektronen ab, der andere nimmt sie :auf.

30411 :TS :Für die elektrische Wirkung nach dem Reiben von Körpern ist :verantwortlich, daß Elektronen abgegeben bzw. angenommen :werden, da die positiven Anziehungskräfte verschiedener Stoffe :verschieden stark sind.
:Objekt 1: Gegenstände
:Objekt 2: Elektronen
:Objekt 3: Protonen (positive Ladungen)
:Objekt 4: Protonen
:Eigenschaft 1: sind Träger von Ladungen
:Eigenschaft 2: sind beweglich
:Eigenschaft 3: sind ortsfest
:Eigenschaft 4: besitzen Anziehungskraft
:Ereignis: Werden unterschiedliche Gegenstände aneinander gerieben, :können Elektronen von einem Körper auf den anderen übergehen.
:Beziehung: Die Existenz von zu unterscheidender Ladung ist Ursache :für die wahrgenommenen Ereignisse.

30601 :TS :Ein Stoff ist aus vielen Ionen zusammengesetzt, die aus Protonen und :Elektronen bestehen.

30619 :TS :Metalle laden andere Stoffe immer negativ auf. Das hängt mit der :Leitung zusammen.

30621 :Tsn :Ein Atom besteht aus Elektronen und Protonen.

30625 :TS :Protonen sind positiv, Elektronen negativ geladen.

30806 :Ts :Plexiglas lädt sich an PVC positiv und an Metall negativ auf.

31119 :TS :Wird eine positive Metallplatte mit der Erde verbunden, wird die :Platte neutral.

31209 :TS :Wird eine negativ geladene Plexiglas-Platte mit einer Glimmlampe :abgetastet, gibt sie Elektronen ab. Die Elektronen quälen sich durch :die Glimmlampe.

31307 :Ts :Metall leitet.

31310 :Ts :Plexiglas leitet nicht so stark.

31425 :TS :Im Metall können Elektronen besser schwingen als in Plastik. :Dadurch wird die Elektrizität besser von einem Atom zum anderen :abgegeben.

31525 :TS :Um eine Metallplatte aufzuladen, muß man sie mit einem Nichtleiter :anfassen.

31611	:TS	:Metalle sind Leiter (im Gegensatz zu Plastik) und geben daher :leichter Elektronen ab. :Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden- :der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen :Situationen.

In einem Klassengespräch versucht der Lehrer, über die bisher bei den Schülern gebildeten Vorstellungen zu kommunizieren. Bei Tanja wird deutlich, daß sie die Konstruktion in der Kommunikation verwendet, die in der letzen Doppelstunde gebildet wurde. In (Ta30115) stellt Tanja eine Beziehung zwischen den Ladungsarten her (das Überwiegen einer Ladungsart bestimmt die Ladungseigenschaft des Gegenstands). In (Ta30411) wird das Ereignis des Übergangs der Elektronen von einem Gegenstand zum anderen (freie Beweglichkeit der negativen Ladung) als kausale Auswirkung einer Stoffeigenschaft konstruiert. Beide Beziehungen bilden die Grundlage für das angewandte Prinzip. Tanja ordnet im Rückgriff auf in der Vergangenheit erfahrene Eigenschaften, Ereignisse und Beziehungen diese neu und komplexer. Durch diese neue Konstruktion höherer Komplexität gelingt es Tanja, die Gegenstände der Lernumgebung neu zu ordnen. Diese Neuordnung ist ein rekursiver Prozeß, d.h. einerseits werden die einzelnen Eigenschaften, Ereignisse und Beziehungen neu erklärbar, andererseits ist die Erklärbarkeit eine Bestätigung des Prinzips, also die Bestätigung, daß sich die ordnenden Beziehungen bewährt haben.

3.2 3. Doppelstunde, 2. Handlungsphase

31723	:TI	:Eine PVC-Folie kann leicht geladen werden.
31803	:TIn	:Wird eine Metallplatte Mit einer PVC-Folie geladen (durch Reiben), :darf die Metallplatte nicht mit der Hand berührt werden.
31819	:Tsn	:Eine Metallplatte ist bei einmaliger Berührung mit der Glimmlampe :bereits entladen, weil eine Aluminium-Platte schneller Elektronen :aufnehmen kann als eine PVC-Folie.
31901	:TS	:Beim Reiben mit einer PVC-Folie gibt eine Aluminium-Platte :Elektronen ab.
31924	:Tin	:Die Glimmlampe leuchtet unterschiedlich, wenn man mit ihr :unterschiedliche Materialien entlädt.
32005	:Tin	:Wird eine Metallplatte über eine Glimmlampe entladen, leuchtet der :abgewandte Faden der Glimmlampe.
32011	:TI	:Wird eine PVC-Folie über eine Glimmlampe entladen, leuchtet der :zugewandte Faden der Glimmlampe.

32028	:TI	:Eine Aluminium-Platte läßt sich laden, indem man sie wie eine PVC- :Folie durch die Hosenbeine zieht.
32211	:TI	:Wird eine Aluminium-Platte mit einer PVC-Folie gerieben, enthält :sie Energie.
32228	:TS	:Der Entladungsblitz der Glimmlampe ist Beweis dafür, daß Metall :die Ladung schnell abgeben kann.

Tanja gelingt es leicht, bisher getrennt behandelte Situationen zu verbinden (Glimmlampe, Energie, Ladbarkeit von Gegenständen). Es ist eine Klasse von Situationen entstanden, die durch die Beziehung zwischen den Ladungsarten geordnet werden kann. Der subjektive Erfahrungsbereich "Erfahrungen mit Elektrostatik" enthält somit die achte Ebene der Wahrnehmung. Die Beziehung "die Existenz von zu unterscheidender Ladung ist Ursache für Ereignisse" ist zum *Prinzip* umkonstruiert. Alle bisher konstruierten Wahrnehmungen dienen in dieser Handlungsphase dazu, das Prinzip T2 zu verifizieren. Wieder wird deutlich, daß die zunehmende Komplexität der Konstruktion zunehmende Handlungskompetenz zur Folge hat.

3.3 3. Doppelstunde, 3. Handlungsphase

In der folgenden Phase des Unterricht beteiligt sich Tanja nicht. Sie bearbeitet eine Hausaufgabe für das Fach Englisch. Lehrer 1 initiiert ein Klassengespräch über die Fragen eines Arbeitsbogens, den er den Schülern ausgehändigt hat. Folgende Aussagen werden in diesem Gespräch besonders betont:

1. (33101) Ein neutraler Körper besitzt gleich viele Elektronen und Protonen. Man kann dies zeichnerisch darstellen, indem man entweder die gleiche Anzahl Plus- und Minuszeichen oder kein Zeichen einträgt.

2. (33107) Ein Körper ist positiv, wenn er mehr Protonen als Elektronen besitzt (Elektronenmangel).

3. (33126) Ein Körper ist negativ, wenn er einen Überschuß an Elektronen besitzt.

4. (33205) Elektrizität (Ladung) ist eine Eigenschaft der Gegenstände selbst.

5. (33209) Zwei Gegenstände ziehen sich an, weil beim Reiben Elektronen von einem Gegenstand auf den anderen gewechselt und die Gegenstände deshalb unterschiedlich geladen sind.

6. (33228) Elektronen können bei Kontakt von einem Stoff zum anderen übergehen, weil unterschiedliche Stoffe unterschiedliche Anziehungskräfte für Elektronen besitzen.

7. (33318) Stoffe müssen nicht aneinander gerieben werden, es reicht aus, wenn sie sich berühren, um Elektronen wechseln zu lassen.

8. (33526) 100 g Eisen enthalten etwa 10^{24} Atome.

9. (33610) Ein Atom besteht aus einem positiven Atomkern und einer negativen Elektronenhülle.

10. (33806) Elektronen sind negativ und beweglich, Protonen sind positiv und ortsfest.

11. (33818) Elektronen bilden die Atomhülle, Protonen sind Bestandteil des Atomkerns.

12. (33820) $m_e = 1/2000\ m_p$

13. (33922) Unterschiedliche Stoffe nehmen unterschiedlich leicht Elektronen auf.

14. (34020) Masse ist neutral und besitzt unendlich viele Elektronen. Masse kann immer Elektronen aufnehmen oder abgeben, wenn der andere Gegenstand nicht neutral ist.

15. (34208) Bei einem Leiter sind die Elektronen viel beweglicher als bei einem Nichtleiter.

Die Funktion dieser im Gespräch mit der Klasse formulierten Sätze wird nicht näher untersucht. Festzustellen ist, daß Tanja und Jens sich in dieser Phase intensiv mit einer Hausaufgabe für das Fach Englisch beschäftigen.

3.4 3. Doppelstunde, 4. Handlungsphase

34208	:TS	:Die Elektronen in einem Leiter sind sehr viel beweglicher, sie können :schneller aufgenommen und abgegeben werden. Deshalb kann ein :Metallkörper schlechter aufgeladen werden.
34420	:TIn	:Wird eine PVC-Folie an einer Metallplatte geladen, ist die Folie :negativ geladen.
34423	:TI	:Das Elektroskop zeigt negative Ladung an.

34523	:TI	:Eine Plexiglasplatte wird negativ geladen, wenn man sie an einer :Aluminium-Platte reibt.
34722	:TI	:Eine PVC-Folie wird negativ geladen, wenn man sie an einer :Aluminium-Platte reibt.
34805	:TS	:Ein Elektroskop kann beide Ladungsarten anzeigen.
34922	:TS	:Wird eine geladene PVC-Folie über den Elektroskop-Teller gehalten, :wird etwas im Elektroskop angezogen.
34926	:TS	:Der Zeiger des Elektroskops schlägt aus, weil etwas angezogen wird.
35012	:TS	:Elektroskop-Teller und Zeigeraufhängung sind leitend miteinander :verbunden.
35112	:TS	:Der Elektroskop-Zeiger zeigt etwas an, weil er entweder einen :Elektronenüberschuß oder Elektronenmangel besitzt.
35211	:TS	:Werden Elektronen von der PVC-Folie an den Elektroskop-Teller :abgegeben, verteilen sich die Elektronen auf Elektroskop-Teller und :Zeigeraufhängung.
35222	:Tsn	:Zeiger und Aufhängung sind leitend miteinander verbunden.
35222	:TS	:Mit der Zeigeraufhängung ist auch der Zeiger negativ geladen.
35222	:TS	:Zeiger und Aufhängung stoßen sich ab. Deshalb schlägt der Zeiger :aus.
35305	:TS	:Wenn sich Ladung auf dem Elektroskop-Teller befindet, muß der :Zeigerauschlag erhalten bleiben, wenn man die PVC-Folie entfernt.
35319	:TS	:Der Elektroskop-Ring ist vorhanden, damit das Elektroskop stehen :kann.

Es gelingt Tanja, das konstruierte Prinzip T2 "die Existenz von zu unterscheidender Ladung ist Ursache für Ereignisse" auf eine bis jetzt noch von der Situationsklasse getrennte Situation des subjektiven Erfahrungsbereichs anzuwenden. In Handlungsphase 3 der 2. Doppelstunde wurde das Elektroskop zwar mit subjektiv befriedigend geringer Diskrepanz, physikalisch aber nicht adäquat beschrieben. Durch die neue Situation wird die Diskrepanz größer, und es entsteht neuer Konstruktionsbedarf. Die neue Beschreibung der Situation "Umgang mit dem Elektroskop" erfolgt in einem Gespräch mit Lehrer 2 parallel zu Handlungen am Elektroskop. Die Situation "Umgang mit dem Elektroskop" wird zufriedenstellend so konstruiert, daß einer Zuordnung zur vom Prinzip organisierten Situationsklasse gelingt. Deutlich wird, daß erst in dieser Handlungsphase eine adäquate Konstruktion funktionaler Elemente des Elektroskops vorgenommen wird. Die Zweckbestimmung der einzelnen Teile des Elektroskops ergibt sich aus der

Anwendung des Prinzips und bestätigt es gleichzeitig. Die nicht adäquate Eigenschaft des Elektroskops, nur positive Ladung anzeigen zu können (s.S. 127), wird zur Konstruktion nicht mehr benutzt, da die Beziehung (Ta23310) "Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind" durch das Prinzip (Ta31611) ersetzt wurde. Das Prinzip wird dadurch gebildet, daß die Beziehung "die Existenz von zu unterscheidender Ladung ist Ursache für Ereignisse" auf Ereignisse und Beziehungen angewandt wird, die bisher erfahren wurden. Die Beziehung enthält alle bisher wahrgenommenen Eigenschaften positiver und negativer Ladungen (ortsfest, verschiebbar, übertragbar, unabhängige Objekte, bestimmen den Charakter des Trägers usw.) Es besteht deshalb nicht mehr die Notwendigkeit der Wahrnehmungsorganisation nach der nicht adäquaten Beziehung. Das *Objekt* Elektroskop erhält somit einen anderen Charakter. Es ist nicht mehr nur Nachweisgerät für eine Ladungsart, und sein funktioneller Aufbau wird differenziert wahrgenommen. Die Anbindung des Elektroskops an die gerade neu gebildete Klasse von Situationen gelingt über das Prinzip T2, das auf alle bisher wahrgenommenen Objekte angewandt wird.

4.1 4. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

40120	:TIn	:Eine Aluminium-Platte muß isoliert auf dem Tisch liegen, wenn sie :geladen werden soll.
40129	:TS	:Ta kennt den Begriffsnamen Berührungselektrizität.
40401	:Ts	:Von einem Körper können durch Kontakt höchstens 1% der :Elektronen entfernt werden.
40604	:TS	:Mit der Glimmlampe kann man feststellen, ob ein Gegenstand positiv :oder negativ geladen ist.
40712	:Ts	:Eine Ladung verteilt sich auf einem Elektroskop gleichmäßig auf :dem Zeiger, der Zeigeraufhängung und dem Elektroskop-Teller.

Im lehrerzentrierten Unterricht werden vom Lehrer 1 Fragen gestellt, die die Schülerinnen/Schüler beantworten. Tanja beteiligt sich am Unterricht. Es werden folgende Sätze formuliert:

1. (S40130) Gegenstände können sich aufladen, wenn sie sich berühren.

2. (L140404) Durch Kontaktelektrizität werden nur ganz wenig Elektronen dazu veranlaßt, den Gegenstand zu wechseln (etwa 1000 - 100 000 von 10^{24}).

3. (L140515) Eine Glimmlampe wandelt sehr wenig Energie um.

4. (Ta40605) Mit einer Glimmlampe kann unterschieden werden, ob ein Gegenstand positiv oder negativ geladen war.

5. (L150614) Eine Glimmlampe leuchtet immer an der negativen Seite.

6. (S40627) Ein Elektroskop zeigt Ladung an, weil Ladung sich auf dem Elektroskop gleichmäßig verteilen kann. Zeiger und Aufhängung sind dann immer gleich geladen und stoßen sich ab.

40910 :TIn :Ein Staubtuch ist ein Isolator.

40926 :TS :Wird ein geladener Gegenstand berührt, wird er geerdet.

41021 :TI :Durch Berührung wird ein Elektroskop schnell entladen.

41101 :TI :Ein Elektroskop kann geladen werden, wenn es über ein Kabel mit
:einer geladenen PVC-Folie verbunden wird.

Bevor die vom Lehrer 1 vorgeschlagenen Experimente durchgeführt werden, werden zunächst einige Versuche gemacht, die ähnliche Funktion haben, wie die Anfangsphase in der 1. Doppelstunde. Die Versuche dienen der Einstimmung auf die zu erwartenden Experimente und der Bereitstellung der Objekte. Anschließend werden die ersten beiden Aufgabe eines Arbeitsbogens bearbeitet:

1. Könnt ihr das Elektroskop "berührungslos" zum Zeigerausschlag veranlassen?

2. Könnt ihr das Elektroskop aufladen, ohne es mit einem geladenen Körper zu berühren?

41211 :Th :Ein Elektroskop zeigt auch an, wenn die geladenen PVC-Folie den
:Elektroskop-Teller nicht berührt.
:Objekt 1: Elektroskop
:Objekt 2: PVC-Folie
:Objekt 3: Elektroskop-Teller
:Eigenschaft 1: ist Nachweisgerät für Ladungen
:Eigenschaft 2: ist geladen
:Eigenschaft 3: kann berührt/nicht berührt werden
:Ereignis: Der Zeiger des Elektroskops schlägt aus/nicht aus.

41408 :Ts :Ein Elektroskop ist neutral, wenn sich kein geladener Körper in
:seiner Nähe befindet.
:Objekt 1: Elektroskop
:Eigenschaft 1: ist im Grundzustand neutral

41416 :TS :Wird eine geladene PVC-Folie über den Elektroskop-Teller gehalten,
:geht etwas vom Elektroskop weg.
:Objekt 1: geladene PVC-Folie
:Objekt 2: Elektroskop-Teller
:Objekt 3: etwas (Ladung)
:Eigenschaft 1: zieht Ladung durch die Luft an
:Eigenschaft 2: gibt Ladung durch die Luft ab
:Eigenschaft 3: kann durch die Luft den Gegenstand wechseln

41422 :TS :Die starke Anziehungskraft der PVC-Folie ist dafür verantwortlich,
:daß etwas vom Elektroskop auf die PVC-Folie übergeht, auch wenn
:die Folie das Elektroskop nicht berührt.

Dieser Teil der Handlungsphase bestätigt deutlich eine wichtige Annahme über den Aufbau subjektiver Erfahrungsbereiche. Die postulierte Situationsabhängigkeit verursacht in bestimmten Phasen der Entwicklung (Erweiterung) auch innerhalb eines subjektiven Erfahrungsbereichs abgeschlossene Bereiche, die zunächst losgelöst von (auch unmittelbar) vorher gemachter Erfahrung konstruiert werden. Folgende Konstruktionen sind von Tanja bereits vorher durchgeführt worden:

1. Tanja hat bereits eine differenzierte, physikalisch adäquate Konstruktion elektrischer Ladungen als unabhängige Objekte erstellt.

2. Tanja hat bereits innerhalb des subjektiven Erfahrungsbereichs Sequenzen konstruiert, die eine Beziehung zwischen Ladungen und geladenen Gegenständen (auch dem Elektroskop) hergestellt haben.

3. Tanja hat mehrere Programme (Ladungserzeugung, Ladungsnachweis) entwickelt und wendet diese ständig an.

4. Tanja ist es gelungen, ein Prinzip bezüglich Ladung anzuwenden und damit bereits andere Teilbereiche des subjektiven Erfahrungsbereichs (Elektroskop) zu erschließen.

5. Das Objekt Elektroskop wurde, mit vielen Eigenschaften, bereits physikalisch adäquat konstruiert.

Die neue Situation erfordert, wenn sie physikalisch adäquat beschrieben werden soll, eine bisher noch nicht konstruierte Beziehung zwischen Ladungen. Zwar wurden schon viele Versuche durchgeführt, in denen eine über das Elektroskop gehaltene, geladene PVC-Folie zu einem potentiell wahrnehmbaren Ereignis geführt hat (Zeigerausschlag), dieses Ereignis war aber bisher nicht Gegenstand der Untersuchung. Fernwirkung von Ladungen aufeinander war bisher immer Ursache eines Übergangs von Ladungen von

einem Gegenstand auf einen anderen. Diese Beziehung "Ladungen ziehen sich an und bewegen sich aufeinander zu" wird in dieser neuen Situation fortgeschrieben, die hier notwendige neue Beziehung: "Fernwirkung zwischen Ladungen existiert unabhängig davon, ob sich die Ladungen bewegen können" kann, obwohl Fernwirkung als Eigenschaft elektrischer Ladungen schon konstruiert wurde, nicht hergestellt werden. Erst durch die Orientierung durch Lehrer 2 ist Tanja, dann aber sehr schnell, in der Lage, eine entsprechende Beziehung wahrzunehmen.

41427 :Ts :Wird Ladung über eine lange Strecke in der Luft transportiert, sieht :man einen Blitz.

41501 :TS :Auch wenn die geladene Folie das Elektroskop nicht :berührt, zeigt das Elektroskop die Ladung der Folie an.

41525 :TS :Negative Ladungen werden leichter abgegeben als positive.

415a04 :TS :Durch die Anziehungskraft der geladenen PVC-Folie werden die frei :beweglichen Elektronen auf den Elektroskop-Teller gezogen, der :dann geladen ist.
:Objekt 1: geladene PVC-Folie
:Objekt 2: bewegliche Elektronen
:Objekt 3: Elektroskop-Teller
:Eigenschaft 1: zieht Elektronen an
:Eigenschaft 2: werden angezogen
:Eigenschaft 3: kann geladen werden
:Ereignis: Der Elektroskop-Zeiger schlägt aus.
:Beziehung: Die Anziehungskraft zwischen den Ladungen bewirkt :eine Verschiebung der Elektronen auf einem Gegenstand. (Die :Elektronen verlassen den Gegenstand nicht).
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen :Situationen.

415a15 :TS :Zeiger und Zeigeraufhängung des Elektroskops sind positiv geladen, ;wenn die Elektronen angezogen werden.
:Objekt 1: Zeiger
:Objekt 2: Zeigeraufhängung
:Objekt 3: Elektronen
:Eigenschaft 1: ist positiv geladen
:Eigenschaft 2: ist positiv geladen
:Eigenschaft 3: sind beweglich
:Beziehung: Werden Elektronen auf der Oberfläche eines Körpers :verschoben, bleibt ein positiver geladener Bereich zurück.
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen :Situationen.

415a20 :TS :Die positive Ladung von Zeiger und Zeigeraufhängung ist Ursache :für den Zeigerausschlag.
:Objekt 1: Zeiger
:Objekt 2: Zeigeraufhängung
:Eigenschaft 1: ist positiv geladen

:Eigenschaft 2: ist positiv geladen
:Ereignis: Der Zeiger schlägt aus.
:Beziehung: Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.

41623 :TI :Während die geladene PVC-Folie über den Elektroskop-Teller :gehalten wird, kann der Elektroskop-Teller über eine Glimmlampe :entladen werden.
:Handlungsziel: Das Elektroskop kann durch das Verfahren "Influenz :und Berühren" dauerhaft geladen werden.

41929 :TSn :Wird eine geladene PVC-Folie über das Elektroskop gehalten, wird :das Elektroskop nicht (dauerhaft) aufgeladen.

42106 :Tsn :Das influenzierte Elektroskop kann auch an der Zeigeraufhängung :geerdet werden.

42119 :TS :Die Glimmlampe verbraucht die Elektrizität des Elektroskops.

42220 :Ti :Wird ein Elektroskop durch Influenz aufgeladen, darf :die PVC-Folie nicht zu schnell entfernt werden.

42223 :Ti :Während der Influenz darf das Elektroskop nur kurz geerdet werden, :weil sich die Ladung sonst wieder ausgleichen würde.

Bisher wurden geladene Körper immer als Körper wahrgenommen, auf die zusätzliche Ladung aufgebracht oder heruntergenommen wurde. In (Ta415a04) konstruiert Ta, nach einer entsprechenden Orientierung durch den Lehrer 2, eine Beziehung zwischen Ladungen als Fernwirkung einer Kraft, die eine Verschiebung auf einem Gegenstand zur Folge hat und ihn dadurch lädt. Bei Ladungen wird die neue Eigenschaft wahrgenommen, daß sie bereits auf dem neutralen Körper vorhanden sind und Neutralität dadurch beseitigt wird, daß eine inhomogene Ladungsverteilung hergestellt werden kann. Diese neue Beziehung zwischen Ladungen und geladenem Gegenstand erlaubt die Anwendung der bisher bereits konstruierten Eigenschaften und Beziehungen auf die neue Situation (Prinzip T2) und in (Ta41623) die Generierung eines neuen Handlungsziels: Tanja erwartet, daß die auf den Elektroskop-Teller gezogenen Ladungen zur Masse abgeleitet werden können, das Elektroskop dadurch also dauerhaft zu laden ist. Dieses Handlungsziel wird sofort realisiert. Das in (Ta12314) bereits angewendete Prinzip "die Existenz von zu unterscheidender Ladung ist Ursache für Ereignisse in verschiedenen Situationen" wird durch die neuen Eigenschaften bestätigt, die neue Situation der durch das Prinzip bestimmten Situationsklasse als neues Element zugeordnet.

3. Könnt Ihr das Elektroskop verschieden stark aufladen?

4. Könnt Ihr das Elektroskop in kleinen Schritten aufladen bzw. entladen?

42309	:TS	:Das Elektroskop kann nicht schrittweise entladen werden.
42313	:TI	:Das Elektroskop kann mit einer ungeladenen PVC-Folie schrittweise :entladen werden.
42326	:TS	:Ein Elektroskop kann unterschiedlich stark aufgeladen werden.
42410	:TI	:Das Elektroskop kann schrittweise aufgeladen werden, wenn zwei :Ladevorgänge (Influenz und Berühren) hintereinander durchgeführt :werden.
42516	:TI	:Das Elektroskop kann über eine Eisenstange entladen werden.
42615	:TS	:Das Elektroskop läßt sich durch Influenz aufladen.
42616	:Ts	:Das Elektroskop läßt sich direkt laden.
42812	:Ti	:Das Elektroskop läßt sich laden, indem mit einer nicht geladenen :PVC-Folie über den Elektroskop-Teller gestrichen wird.
43028	:TS	:Läßt man einen Tischtennisball gegen den Elektroskop-Teller des :geladenen Elektroskops ticken, entlädt sich das Elektroskop nur beim :ersten Ticken.
43108	:TI	:Der Tischtennisball muß nach jeder Berührung mit dem Elektroskop- :Teller entladen werden.
43108	:TI	:Der Tischtennisball läßt sich über eine Aluminium-Platte entladen.
43212	:TI	:Eine entladene Holundermark-Kugel wird von einem geladenen :Elektroskop zunächst stark, nach längerem Verweilen weniger stark :angezogen.
43307	:TS	:Eine Holundermark-Kugel wird vom Elektroskop-Ring angezogen.
43320	:Ti	:Eine entladene Holundermark-Kugel wird vom Elektroskop-Ring :nicht angezogen.
43328	:TS	:Das Elektroskop kann nicht mit der Holundermark-Kugel über den :Elektroskop-Ring als Masse entladen werden.
43429	:TS	:Das Elektroskop kann mit einem Hochspannungsgerät geladen :werden.
43514	:Ts	:Das Hochspannungsgerät ist gefährlich.

Das Handlungsziel (Ta41623) "Das Elektroskop kann durch das Verfahren "Influenz und Berühren" dauerhaft geladen werden" wird in dieser Handlungsphase zu einem *Programm* "Ladungserzeugung 3". Das Verfahren wird ohne besondere Vorbereitung oder aus dem Verhalten identifizierbare Denkprozesse angewandt, um andere Hand-

lungsziele zu erreichen. Immer wenn es notwendig war das Elektroskop zu laden, wurde dies mit dem neuen Programm organisiert. Das neue Verfahren wird als geeigneter angesehen, das Ziel zu erreichen, als das direkte Laden des Elektroskops. Der Ablöseprozeß wird in (Ta42615), (Ta42616) und (Ta42812) deutlich, die Verfahren werden noch einmal verglichen. Das alte Verfahren des direkten Ladens wird von nun an nur noch bei der PVC-Folie benutzt. Beide Programme existieren von nun an nebeneinander in unterschiedlichen Situationen einer Situationsklasse.

5.1 5. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

50122	:TS	:Gegenstände können geladen werden, wenn sie mit einem anderen :geladenen Gegenstand in Kontakt kommen.
50920	:TS	:Bei einem Leiter können Elektronen und Protonen getrennt werden.
50925	:TS	:Bei einem Nichtleiter verformen sich die Atome, Elektronen und :Protonen bleiben zusammen.
51103	:Tsn	:Elektronen, die Platz haben, freuen sich.
51115	:TS	:Elektronen sind auf einer Aluminium-Folie gleichmäßig verteilt, weil :sie sich abstoßen.
51126	:TSn	:Werden Elektronen aufgerollt, fühlen sie sich nicht mehr wohl.
51226	:TS	:Nach dem Zusammenschnappen des Rollos hat sich am Zustand der :Elektronen nichts geändert.
51401	:TS	:Beim Zusammenrollen des Rollos hat sich die Ladung nicht :verändert. :Objekt 1: Rollo :Objekt 2: Ladung :Eigenschaft 1: ist geladen :Eigenschaft 2: hat einen bestimmten Betrag :Ereignis: Das Rollo schnappt hoch. :Beziehung: Der Betrag von Ladungen auf einem Gegenstand kann :nur durch Transport (direkt) verändert werden. :oder: Auf der Oberfläche eines Gegenstands bleibt die :Ladungsmenge konstant, wenn der Gegenstand nicht berührt :(geerdet) wird.
51715	:TS	:Wird die Oberfläche eines geladenen Leiters vergrößert, verteilt sich :die Ladung auf der neuen Fläche gleichmäßig. :Objekt 1: geladene Leiteroberfläche :Objekt 2: Ladung :Eigenschaft 1: kann vergrößert werden :Eigenschaft 2: ist frei beweglich

:Beziehung: Die freie Beweglichkeit der einzelnen Ladungsteilchen
:Elektronen) und die zwischen ihnen wirkenden abstoßenden Kräfte
:bestimmen den Charakter der Ladungsverteilung.
:Prinzip T5: Auf der Oberfläche eines Gegenstands bleibt die
:Ladungsmenge konstant, wenn der Gegenstand nicht berührt
:(geerdet) wird.

51902 :TS :Eine einzelne Ladung läßt sich nicht teilen.

Lehrer 1 beginnt die 5. Doppelstunde mit einem Lehrerexperiment und einem Gespräch darüber. Er lädt ein Rollo aus einer Aluminium-Folie und läßt es anschließend zusammenschnappen. Ohne die Ideen zu analysieren wird deutlich, daß für Tanja die Vorstellung unangenehm ist, daß die Elektronen sich nun zusammengedrängt auf dem Rollo befinden müssen. Zwei Beziehungen werden verknüpft und zu einer neuen Beziehung verbunden. In (Ta415a04) wird die Beziehung "Die Anziehungskraft zwischen den Ladungen bewirkt eine Verschiebung der Elektronen auf einem Gegenstand. (Die Elektronen verlassen den Gegenstand nicht)" hergestellt. Hier ist angelegt, daß ein Gegenstand dadurch geladen werden kann, daß Ladung auf seiner Oberfläche verschoben wird. Die hier neu gebildete Beziehung (Ta51401) ist wesentlicher Bestandteil der Wahrnehmung der Ladungserhaltung bei Veränderung der Oberflächengröße. In (Ta51715) wird Ladungserhaltung bei Veränderung der Oberflächengröße zum *Prinzip*. Es ordnet die Klasse von Situationen, in denen das Ausgleichsbestreben von unterschiedlichen Ladungen auf unterschiedlichen Gegenständen thematisiert wird.

51915 :TIn :Ein einzelnes überschüssiges Elektron bewegt sich
:auf einer Aluminium-Platte.

52325 :TIn :Ein geladenes Elektroskop läßt sich durch Antippen mit einer
:Glimmlampe entladen.

52403 :TS :Mit einer Glimmlampe läßt sich nachweisen, ob Ladung von einem
:Elektroskop herunter- oder heraufbewegt wird.

52419 :TSn :Weil die Glimmlampe geteilt ist, kann die Ladung
:nicht durch sie hindurchfließen.

52405 :TS :Weil Ladung in der Glimmlampe verbraucht wird, kann sie nicht zum
:Gegenstand zurückfließen.

52423 :TSn :Die Glimmlampe leuchtet an der negativen Seite.

52424 :TIn :Die Glimmlampe eignet sich auch zum Ladungsnachweisgerät, wenn
:man sie am Glas anfaßt.

52510 :TS :Wird ein Elektroskop ge- bzw. entladen, fließen negative Ladungen
:heraus bzw. herein.

Das Programm "Ladungsnachweis 2" wird modifiziert. Tanja nimmt die Eigenschaft der Glimmlampe wahr, unterschiedliche positiv und negativ geladene Gegenstände unterschiedlich anzuzeigen und ordnet den Glimmfäden die entsprechende Ladung zu ("Ladungsnachweis 3"). Das heißt nicht, daß in Zukunft nur noch dieses Programm benutzt wird, um Handlungen zu organisieren. Die Programme werden situationsadäquat eingesetzt, d.h. immer dann, wenn das Handlungsziel darin besteht, zu überprüfen, ob ein Gegenstand überhaupt geladen ist, wird das Programm "Ladungsnachweis 1" weiterhin eingesetzt und die dann zweifellos potentiell wahrnehmbare Zweiteilung der Glimmlampe nicht wahrgenommen werden.

Eine weitere bemerkenswerte Feststellung ist in dieser Handlungsphase zu treffen. In der 1. Doppelstunde wurden von Tanja der Glimmlampe die Eigenschaften zugeordnet:

(Ta14025) Eine Glimmlampe kann nur als Ladungsnachweisgerät eingesetzt werden, wenn sie an der freien Seite geerdet wird, und (Ta14115) eine Glimmlampe darf nicht am Glas angefaßt werden. In (Ta52424) wird wieder auf die physikalisch nicht adäquate, aber in dieser Situation erfolgreiche Eigenschaftszuordnung aus (Ta13022), die Glimmlampe ist Nachweisgerät, auch wenn sie am Glas gehalten wird, zurückgegriffen. Dies deutet darauf hin, daß beide Situationen durch abgeschlossene Konstruktionen des subjektiven Erfahrungsbereichs geordnet und organisiert werden. Deshalb läßt sich in in keiner den Situationen zuzuordnenden Handlungen eine Verbindung auf der Beziehungsebene konstruieren. Außerdem ist zu erkennen, daß die Eigenschaftszuordnung (Ta13022) nur bezüglich der Situationsklasse (Ta14115) "vergessen" wurde.

52601 :TI :Eine Aluminium-Platte läßt sich mit einer geladenen PVC-Folie mit :der Methode "Influenz und Berühren" aufladen.

52710 :TS :Wird der Lade- und Entladevorgang mehrmals wiederholt, verliert :die Aluminium-Platte Elektronen.

52715 :TI :eine Aluminium-Platte kann über eine Glimmlampe ge- oder entladen :werden.

52820 :TI :Ladungen sind entgegengesetzt, wenn sie sich anziehen.

52919 :TI :Eine Aluminium-Platte läßt sich besser mit "Influenz und Berühren" :laden, wenn die PVC-Folie zweimal zwischen den Hosenbeinen :hindurchgezogen wird.

53002 :TI :Werden zwei Aluminium-Platte gleich geladen und eine von ihnen :geerdet, sind sie entgegengesetzt geladen.

53106 :TI :An einer geladenen PVC-Folie kann die Funktionsfähigkeit einer :Glimmlampe sicher überprüft werden.

53119	:TS	:Das Elektroskop ist defekt, weil es sich nicht durch Antippen mit :einer Glimmlampe entladen läßt.
53204	:TI	:Eine geladene Aluminium-Platte kann eine andere, neutrale :Aluminium-Platte influenzieren.
53213	:TI	:Die zweite Aluminium-Platte läßt sich durch die geladene erste Platte :nicht influenzieren, weil die Platten verdreckt sind.

Das Programm "Ladungserzeugung 3" wird in einer neuen Situation (auf eine Aluminium-Platte) angewandt. Deutlich wird in dieser Phase der Handlung unter anderem, wie unterschiedliche Programme mit ähnlichem Ziel (Ladungserzeugung) parallel verwandt werden. Das Laden der PVC-Folie wird in einem Handlungsablauf (als Vorbereitung der Ladung einer Aluminium-Platte) mit Programm "Ladungserzeugung 1" organisiert. Deutlich wird außerdem, daß Programme sehr konstante Konstruktionen sind. Die entsprechend geladene PVC-Folie wird als Indikator für die Brauchbarkeit einer Glimmlampe benutzt, wobei das Programm "Ladungsnachweis 1" ebenfalls nicht in Frage gestellt wird.

An zwei weiteren Stellen ist eine Einschätzung der Sicherheit der Wahrnehmung möglich. Das Programm "Ladungsnachweis 1" hat zum Ziel, zu überprüfen, ob ein Gegenstand geladen war oder nicht. Nach der Anwendung des Programms ist er nicht mehr geladen. Diese Konstruktion setzt eine Beziehung zwischen dem geladenen Gegenstand, der Glimmlampe und Masse der Art voraus, daß die Glimmlampe die Ladung vom Gegenstand zur Masse ableitet. Diese Beziehung mit ihren notwendigen Objekten und deren Eigenschaften ist Bestandteil des Programms, also mit einer hohen Erwartung bezüglich der beteiligten Ereignisse (Leuchten der Glimmlampe, Zustand der PVC-Folie) belegt. In (Ta53119) wird die gerade genannte Beziehung benutzt, um ein Elektroskop zu entladen. Das erwartete Ereignis (Sinken des Zeigers) tritt nicht ein. Gemäß der Sicherheit der beteiligten Elemente wird Wahrnehmung so konstruiert (das Elektroskop ist defekt), daß die Beziehung nicht geändert werden muß. Für das Elektroskop wird eine neue Eigenschaft konstruiert.

Das nächste Beispiel betrifft die Ideen (Ta53204) und (Ta53213). Das Programm "Ladungserzeugung 3" wird auf zwei Aluminium-Platten angewandt. Die vom Programm erzeugte Wahrnehmung ist so sicher, daß, nachdem eine Diskrepanz zwischen Erwartung und rückgekoppelter Handlung entsteht, eine Veränderung auf der Eigenschaftsebene vorgenommen wird.

Die in einer Situation eingesetzten Ebenen der Wahrnehmung sind also in dem Sinne hierarchisch geordnet, als die Konstruktion der jeweils höheren Ebene eine größere Si-

cherheit von Wahrnehmung und Erwartung enthält oder: die jeweils höhere Ebene der Wahrnehmung ist durch einen höheren Grad an Konservativität gekennzeichnet

(s.S. 14).

53505 :Ti :Werden zwei sich berührende Aluminium-Platten influenziert und :anschließend getrennt, sind sie entgegengesetzt geladen.

53509 :TI :Die Art der Ladung läßt sich mit einer Glimmlampe überprüfen.

53606 :Ti :Nach dem Trennen der Platten muß sehr schnell :mit der Glimmlampe gemessen werden.

53804 :TI :Werden zwei sich berührende Aluminium-Platten influenziert und :anschließend getrennt, sind sie entgegengesetzt geladen.

53824 :TS :Durch eine geladene PVC-Folie werden Elektronen beider sich :berührender Aluminium-Platten auf eine Platte gezogen.

53902 :TS :Werden die Platten während der Influenz durch die geladene PVC- :Folie getrennt, befinden sich die Elektronen auf einer Platte, auf der :anderen Platte befinden sich keine Elektronen mehr.

53910 :Ts :Werden die Platten während der Influenz durch die geladene PVC- :Folie getrennt, befinden sich die Elektronen auf einer Platte, auf der :anderen Platte befinden sich weniger Elektronen.

54221 :TI :Kommt man mit einem ungeladenen Gegenstand in die Nähe eines :geladenen, findet immer Anziehung statt.

54221 :TI :Kommt man mit einem ungeladenen Gegenstand in die Nähe eines :geladenen, wird der ungeladene Gegenstand polarisiert.

54725 :TS :Zwei Aluminium-Platten sind isoliert, parallel aufgestellt und durch :eine Glimmlampe miteinander verbunden. Nähert und entfernt man :eine geladene PVC-Folie von einer Seite, leuchtet die Glimmlampe :wechselseitig auf.
:Objekt 1: Aluminium-Platte 1
:Objekt 2: Aluminium-Platte 2
:Objekt 3: Glimmlampe
:Objekt 4: PVC-Folie
:Objekt 5: Ladung
:Eigenschaft 1: ist ein Leiter
:Eigenschaft 2: ist ein Leiter
:Eigenschaft 3: besitzt zwei Glimmfäden
:Eigenschaft 4: ist geladen
:Eigenschaft 5: ist frei verschiebbar, wird von anderer Ladung :angezogen/abgestoßen
:Ereignis: Die Fäden der Glimmlampe leuchten abwechselnd an der :negativen Seite.
:Beziehung: Die Anziehungskraft zwischen den Ladungen bewirkt :eine Verschiebung der Elektronen auf einem Gegenstand. Durch die :Beziehung werden die beteiligten Objekte zu einer Sequenz geordnet.

:Programm: Die Programme "Ladungserzeugung 1" (Laden der PVC-
:Folie) und "Ladungsnachweis 3" werden angewandt.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:verschoben werden. Die Beziehung (wie (Ta415a04)) organisiert eine
:neue Klasse von Situationen. Sie enthält alle Handlungen, die das
:Verschieben von negativen Ladungen auf Leiteroberflächen zum Ziel
:haben.

54803 :TI :Die geladene PVC-Folie muß nah heran und weit weggeführt werden,
:damit der Effekt auftritt.

In (Ta53910) wird das Programm "Ladungserzeugung 3" (Ta41623) modifiziert. Zwei nebeneinanderliegende Aluminium-Platten werden durch "Influenz und Trennen" entgegengesetzt geladen ("Ladungserzeugung 4").

In (Ta54725) ist eine komplexe Situation zu erkennen. Zentrum der Konstruktion ist die Vorstellung von negativ geladenen Teilchen, die durch Einwirkung von außen (geladene PVC-Folie wird selbst bewegt) auf der Oberfläche von Aluminium-Platten hin und her bewegt werden können. Kontrolliert wird die Konstruktion durch ein Ereignis (Glimmlampe leuchtet abwechselnd an der negativen Seite). Das Prinzip wird durch das Ereignis bestätigt.

6.1 6. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

60216 :TIn :Werden Aluminium-Platten gereinigt, eignen sie sich besser für
:Versuche.

60225 :TIn :Eine Metallplatte läßt sich durch Influenz mit einer PVC-Folie und
:Erdung über eine Glimmlampe aufladen.

60229 :TI :Es bedeutet etwas, daß die Glimmlampe an unterschiedlichen Seiten
:aufleuchtet.

60303 :Tin :Die Glimmlampe muß an der ableitenden Metallkappe gehalten
:werden.

60306 :TIn :Mit der Glimmlampe kann festgestellt werden, ob eine Aluminium-
:Platte negativ oder positiv geladen war.

60317 :TS :Mit einer einmal aufgeladenen PVC-Folie kann eine Aluminium-
:Platte oft ge- und entladen werden.

60325 :TIn :Zwei Aluminium-Platte können durch Influenz und Berühren geladen
:werden.

60401 :TIn :Zwei Aluminium-Platten lassen sich durch Influenz entgegengesetzt
:laden.

```
60420  :TIn   :Die entgegengesetzte Ladung kann mit einer Glimmlampe festgestellt
              :werden.

60501  :TS    :Eine PVC-Folie kann nur positiv geladen werden.

60510  :TI    :Je nach Kontaktmaterial kann eine PVC-Folie negativ oder positiv
              :geladen werden.

60518  :TS    :Ein graphitierter Tischtennisball pendelt zwischen einem geladenen
              :Elektroskop und einer Aluminium-Platte hin und her. Mit einem
              :solchen Verfahren kann die Metallplatte geladen werden.

60701  :TI    :Eine Metallplatte zieht Styroporteilchen an.

60827  :TS    :Durch eine über die Aluminium-Platte gehaltene, geladene PVC-
              :Folie werden die Elektronen in der Platte weggedrückt.

60903  :TS    :Eine geladene PVC-Folie kann keine Elektronen an die Aluminium-
              :Platte abgeben.

61104  :TS    :Wird ein Körper angefaßt, wird er geerdet.

61128  :TS    :Überzählige Ladungen verteilen sich auf einem Körper so, daß sie
              :einen möglichst großen Abstand voneinander haben.

61314  :TI    :Eine Aluminium-Platte kann durch Influenz mit einer gleich
              :geladenen PVC-Folie positiv und negativ aufgeladen werden, wenn
              :man während des Influenzvorgangs entweder an der Seite der
              :Aluminium-Platte entlädt, die der Folie zugewandt oder abge-
              :wandt ist.

61527  :TS    :(Lädt und entlädt man eine Metallplatte, geht die gleiche Ladungsart
              :runter wie rauf). Dies kann man daran sehen, daß die Glimmlampe
              :jeweils an der anderen Seite aufleuchtet.
```

Diese Handlungsphase besitzt, wie die 1. Handlungsphase der 2. Doppelstunde Bereitstellungscharakter. Die Phase wurde von Lehrer 1 initiiert. Die bisher konstruierten Programme werden angewandt.

In (Ta60303) wird, nach einer Orientierung durch den Lehrer 1, die Glimmlampe physikalisch adäquat eingesetzt. Alle dadurch betroffenen Programme werden entsprechend modifiziert. Ein anderer Einsatz der Glimmlampe (am Glas gehalten) ist im Unterricht von nun an nicht mehr zu beobachten.

6.2 6. Doppelstunde, 2. Handlungsphase

61720	:TI	:Eine Metallplatte muß geerdet werde, wenn sie influenziert ist, sonst :lädt sie sich nicht auf.
61726	:TI	:Eine Metallplatte kann über eine Glimmlampe ge- bzw. entladen :werden.
62201	:TI	:Man kann zwei Metallplatten entgegengesetzt laden, indem man sie :aneinanderlegt, influenziert und trennt.
62206	:TS	:Man kann den entgegengesetzten Ladungszustand mit einer :Glimmlampe nachweisen.
62213	:TS	:Zwei entgegengesetzt gleich geladene Metallplatten können über eine :Glimmlampe einzeln gegen Masse entladen werden.
62321	:TI	:Zwei entgegengesetzt gleich geladene Aluminium-Platten können :über eine Glimmlampe gegeneinander entladen werden.
62501	:TI	:Zwei entgegengesetzt gleich geladene Aluminium-Platten können mit :einem zwischen ihnen pendelnden Tischtennisball entladen werden.
62508	:TS	:Der Lichtblitz ist schwächer, wenn die Aluminium-Platten einzeln :gegen Masse entladen werden.

In der zweiten Handlungsphase dieser Stunde bearbeiten die Schüler Fragen, die der Lehrer auf einem Arbeitsbogen vorgeschlagen hat:

1 a Versuche 2 Aluminium-Platten so aufzuladen, daß sie möglichst große und entgegengesetzte Ladung tragen. (Tip: Influenz)

1 b Zeige den entgegengesetzten Ladungszustand der Platten von a).

2. Welche verschiedenen Möglichkeiten der Entladung der Platten über eine Glimmlampe gibt es? Was ist dabei zu beobachten?

Die Fragen werden bearbeitet, indem die Programme "Ladungserzeugung 4" (Ta53910) und "Ladungsnachweis 3" (Ta52405) eingesetzt werden. Die Aluminium-Platten werden mit dem Programm "Ladungserzeugung 4" entgegengesetzt gleich geladen. Die Entladung nach Programm "Ladungsnachweis 3" wird über das Ereignis "Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht" rückgekoppelt (Ta62213) (Ta62321). Die Wahrnehmung der Helligkeit der Lichtblitze wird sehr sicher auf eine Frage des Lehrers 2 geäußert (Ta62508). In dieser Handlungsphase werden keine Konstruktionen erkennbar, die über die Ereignisebene hinausgehen.

6.3 6. Doppelstunde, 3. Handlungsphase

62512	:TI	:Eine geladene Aluminium-Platte kann mit einem Tischtennisball in :kleinen Schritten gegen Masse entladen werden.
62618	:TI	:Eine Glimmlampe ist defekt, wenn sich die Glimmfäden berühren.
62809	:TI	:Werden zwei geladene Aluminium-Platten über eine Glimmlampe :gegeneinander entladen, kann die Glimmlampe isoliert sein.
63019	:Thn	:Die Bewegung der Elektronen läßt sich auch während des :Influenzvorgangs auf der Oberfläche mit einer Glimmlampe :nachweisen.
63024	:Tin	:Um die Bewegung der Elektronen zwischen zwei geladenen :Aluminium-Platten nachweisen zu können, müssen die Platten :während der Influenz getrennt sein.
63209	:TI	:Man kann zwei Metallplatten entgegengesetzt laden, indem man sie :aneinanderlegt, influenziert und trennt.
63224	:TI	:Zwei entgegengesetzt gleich geladene Aluminium-Platten können :gegeneinander entladen werden.
63416	:TS	:Zwei mit Influenz entgegengesetzt geladene Aluminium-Platten :enthalten den selben Ladungsbetrag.
63418	:TS	:Werden zwei Aluminium-Platte einmal einzeln gegen Masse und :einmal gegeneinander entladen, fließen die selben Ladungsbeträge.
63427	:TS	:Werden die geladenen Aluminium-Platten über eine Glimmlampe :gegen Masse entladen, leuchtet die Glimmlampe nicht so hell, wenn :die negativen Teilchen die Platte verlassen.
63621	:TS	:Werden zwei entgegengesetzt gleich geladene Aluminium-Platten :über eine Glimmlampe gegeneinander entladen, leuchtet die :Glimmlampe heller als jeweils beim einzelnen Entladen der Platten :gegen Masse. :Objekt 1: Aluminium-Platte 1 :Objekt 2: Aluminium-Platte 2 :Objekt 3: Glimmlampe :Objekt 4: Masse :Eigenschaft 1: ist geladen :Eigenschaft 2: ist entgegengesetzt gleich geladen wie Platte 1 :Eigenschaft 3: ist Nachweisgerät für Ladung :Eigenschaft 4: nimmt negative Ladung auf/gibt negative Ladung ab :Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet hell oder weniger hell. :Programm: "Ladungserzeugung 4", "Ladungsnachweis 3"
63708	:TS	:Wenn eine Lampe heller leuchtet (unabhängig vom gerade :durchgeführten Versuch), ist mehr Ladung geflossen.
63827	:TS	:Energie wird nicht verbraucht.

63905 :TS :Die Masse besitzt keinen Elektronenbedarf oder gibt von sich aus
:keine Elektronen ab.
:Objekt 1: Masse
:Objekt 2: Elektronen
:Eigenschaft 1: ist neutral (enthält negative und positive Teilchen)
:Eigenschaft 2: sind frei beweglich
:Beziehung: Neutrale Gegenstände (hier Masse) üben keine Kraft auf
:Elektronen aus.

63907 :TS :Werden zwei geladene Aluminium-Platten nacheinander gegen
:Masse entladen, werden die Elektronen nur abgestoßen oder nur
:angezogen.
:Objekt 1: Aluminium-Platte 1
:Objekt 2: Aluminium-Platte 2
:Objekt 3: Masse
:Objekt 4: Elektronen
:Eigenschaft 1: ist positiv geladen
:Eigenschaft 2: ist mit dem selben Betrag negativ geladen
:Eigenschaft 3: ist neutral
:Eigenschaft 4: sind frei beweglich
:Beziehung 1: Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an,
:gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.
:Beziehung 2: Die Entladevorgänge sind zeitlich getrennt.
:Prinzip T2: Die Existenz von zu unterscheidender Ladung ist Ursache
:für Ereignisse in verschiedenen Situationen.

63910 :TS :Werden geladene Aluminium-Platten (gleichzeitig) gegeneinander
:entladen, werden die Elektronen gleichzeitig angezogen und
:abgestoßen.
:Objekt 1: Aluminium-Platte 1
:Objekt 2: Aluminium-Platte 2
:Objekt 3: Elektronen
:Eigenschaft 1: ist positiv geladen
:Eigenschaft 2: ist mit dem selben Betrag negativ geladen
:Eigenschaft 3: sind frei beweglich
:Beziehung 1: Entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an,
:gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.
:Beziehung 2: Die Entladevorgänge sind zeitlich gekoppelt.
:Prinzip T2: Die Existenz von zu unterscheidender Ladung ist Ursache
:für für Ereignisse in verschiedenen Situationen.

In (Ta63621) wird das Programm "Ladungsnachweis 3" modifiziert. Die zwischen die beiden Aluminium-Platte gehaltene Glimmlampe wird isoliert direkt oder mit einem Griff am Glas gehalten.

Tanja konstruiert eine logische Begründung für das Ereignis aus (Ta63621). Zwei Beziehungen spielen dabei eine Rolle. Durch Beziehung 1 gelingt die Einordnung des Versuchs in die Situationsklasse, die durch das Prinzip zu beschreiben ist. Das Prinzip wird durch die Beachtung der Masse als neutrale, keine Kraft ausübende Komponente situationsspezifisch erweitert. Die Ordnung der Handlung durch Beziehung 2 (rückgekoppelt durch das Ereignis) läßt eine Addition der zeitlich getrennten Ereignisse von

(Ta63907) zu. Damit wird das hellere Leuchten der Lampe aus der Addition zweier Kraftwirkungen konstruierbar.

7.1 7. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

70312	:TS	:Werden zwei Aluminium-Platten durch Influenz ohne Berührung :entgegengesetzt geladen, bleibt die Ladungsmenge erhalten.

In dieser Handlungsphase initiiert Lehrer 1 ein Gespräch über den letzten Versuch der 3. Handlungsphase in der 6. Doppelstunde. Tanja beteiligt sich, ihre Handlung ist aber nur an einer Stelle beobachtbar.

Im folgenden werden beobachtbare Inhalte zusammengefaßt:

1. (70122) Der Versuch wird beschrieben.

2. (70305) Mit der Methode "Influenz und Trennung" geladene Aluminium-Platten enthalten eine entgegengesetzte, aber im Betrag gleich große Ladungsmenge.

3. (Ta70312) Der Ladungsbetrag beider Aluminium-Platten ist gleich, weil Elektronen von einer Platte auf die andere gewechselt haben.

4. (Je70415) Werden beide Platten einzeln gegen Masse entladen, wirkt jeweils eine Kraft auf die Elektronen, werden die Platten gegeneinander entladen, wirken beide Kräfte gleichzeitig.

5. (L170509) Wirken beide Kräfte gleichzeitig, wird von den bewegten Ladungen mehr Energie freigegeben, und die Lampe leuchtet heller.

7. (L170610) Die Energie, die in beiden Teilentladungen gegen Masse frei wird, hat den selben Betrag wie die Energie, die frei wird, wenn beide Platten gegeneinander entladen werden.

8. (Je70801) Werden die Elektronen von beiden Kräften gleichzeitig bewegt, ist ihre Beschleunigung und damit ihre Energie größer.

9. (L170823) Gleiche Ladungsmengen können in verschiedenen Systemen unterschiedliche Energiemengen freisetzen.

70827	:Ts	:Gleiche Ladungsmengen können in verschiedenen Systemen :verschieden stark wirken.

70829 :Ts :Gleiche Ladungsmengen können in verschiedenen Systemen :verschieden große Energiemengen freisetzen.

10. (70923) Auf einem Ladungsrollo können von einer konstanten Ladungsmenge unterschiedliche Energien freigesetzt werden, je nach Größe der Oberfläche. Die Ladungsdichte der Elektronen ändert sich.

11. (71015) Bei größerer Ladungsdichte sind die abstoßenden Kräfte der Elektronen untereinander größer.

(L1710251)Lehrer 1 führt einen Versuch mit Magnetpucks auf einem Luftkissen vor. Sich abstoßende Magnete, die auf einem Luftkissen schweben, werden mit einer Magnetleiste komprimiert.

71109 :TS :Elektronen auf einer Metallplatte bewegen sich.

71301 :TS :Werden zwei entgegengesetzt gleich geladene Aluminium-Platten :gegeneinander entladen, leuchtet die Glimmlampe heller. Die gleiche :Ladungsmenge auf einem Rollo verursacht einen weniger hellen :Lichtblitz beim Entladen, wenn die Fläche des Rollos größer ist.

71503 :TS :Elektrische Energie ist eine Energieform.

71516 :TS :Energie ist eine Größe, die erhalten bleibt, bis sie in Bewegung oder :in Kraft umgewandelt wird.

12. (L171523) Energie kann das sein, was einem System zusammengepreßter gleichnamiger Ladungen innewohnt und die Arbeitsfähigkeit des Systems bestimmt.

71620 :Th :Man kann die Dauer des Lichtblitzes einer Glimmlampe messen.

13. (S71613) Der weniger helle Lichtblitz muß länger anhalten, weil die Elektronen durch die geringere Kraft weniger beschleunigt werden.

14. (L171622) Die Glimmlampe ist ein Ladungsnachweisgerät und nicht geeignet, die Geschwindigkeit von Elektronen zu überprüfen.

15. (L171704) Die Systeme unterscheiden sich dadurch, daß eins viel und das andere wenig Energie pro Ladung besitzt.

16. (L171828) Wird bei einem geladenen Ladungsrollo die Fläche verkleinert, besitzt das System eine größere Energie, weil Arbeit am System verrichtet wurde (Aufrollen der Feder).

17. (L172127) Polarisation ist die Änderung der Ladungsverteilung eines Atoms.

72209 :TS :Bei der Polarisation wird die Ladungsverteilung um ein Atom herum :eiförmig verändert.

18. (L172414) Bei einem Nichtleiter kann sich die Elektronenhülle gegen den Kern verschieben, bei einem Leiter gibt es immer freie Elektronen, die sich auf der Oberfläche verschieben lassen.

(L172505) Der Lehrer regt an, einen Ladungs- bzw. Energiespeicher zu bauen.

72714 :TI :Zwei nebeneinanderliegende, entgegengesetzt geladene Aluminium- :Platten bilden einen Ladungsspeicher.

72720 :TIn :Zwei entgegengesetzt geladene Aluminium-Platten können über eine :isolierte Glimmlampe gegeneinander entladen werden.

72817 :TI :Durch Hinzunahme weiteren Materials wird die Aufnahmekapazität :der Platten für Elektronen erhöht.

72823 :TI :Der Stange können zusätzliche Elektronen entnommen werden. Nach :der Entnahme wird die Stange nicht mehr benötigt.

73026 :Th :Mit einer aufgesteckten Kugel kann ein Elektroskop besser geladen :werden als mit einem aufgesteckten Elektroskop-Teller.

73126 :Th :Ein Faraday-Becher eignet sich nicht als Energiespeicher.

73208 :TI :Eine Kugel ist erst dann ein Energiespeicher (Ladungsspeicher), :wenn sie die Ladung auch noch behält, wenn sie vom Elektroskop :getrennt ist.

73226 :TS :Die geladene Kugel entlädt sich, wenn sie mit Styropor-Blöcken vom :Elektroskop abgenommen wird.

73310 :Th :Ein Faraday-Becher ist ein Ladungsspeicher.

73312 :TS :Mit einem aufgesteckten Faraday-Becher oder einer aufgesteckten :Kugel kann ein Elektroskop besser geladen werden als bisher.

Tanja ist offensichtlich nicht in der Lage, eine adäquate Konstruktion für einen Ladungsspeicher durchzuführen. Die Erwartung wird in dieser Handlungsphase von der Eigenschaftsebene bestimmt und durch Ereignisse rückgekoppelt. Die Handlung selbst kann durch die Standardprogramme "Ladungserzeugung 1 bzw 3" und "Ladungsnachweis 2" organisiert werden. Neue Beziehungen werden nicht gebildet.

Offensichtlich kann Tanja die Orientierung des Lehrers, (L171704) "die Systeme unterscheiden sich dadurch, daß eins viel und das andere wenig Energie pro Ladung besitzt", keine Bedeutung zuweisen, die ein Handlungsziel generieren würde. Außerdem ist festzustellen, daß in der Lernumgebung, außer dem am Lehrertisch aufgebauten La-

dungsrollo, keine Materialien zur Verfügung gestellt werden, die eine Veränderung der Oberfläche bei gleichbleibender Ladungsmenge ermöglichen würde. Tanja zieht sich bei der Konstruktion ihrer Wahrnehmung und Erwartung deshalb auf die Ebene zurück, die eine geringe Diskrepanz zu den rückgekoppelten Ereignissen erwarten läßt.

Tanjas Handlungen lassen in dieser Handlungsphase eine ständige, aus Langeweile entstandene Unzufriedenheit mit den rückgekoppelten Ereignissen erkennen. Dies soll durch einzelne Zitate belegt werden:

> (Ta72709)"Ta:Je: Also. Was machen wir jetzt' " (Am Anfang der Handlungsphase)
>
> (Ta72829)"(Schlägt ärgerlich mit der Faust auf den Tisch)"
>
> (Ta72917) "Ta:Je: Komm wir gehn da jetzt auch noch mal gucken (steht auf und geht zu Jens). ... (Stößt Jens an) Komm wir gehn jetzt da auch noch mal gucken. (geht mit Jens in den Sammlungsraum)"
>
> (Ta72927)"Pe:Ta: Was wird das' wenns fertig is'
> Ta:Pe: Leider garnichts. (Der gerade aus der Sammlung geholte Faraday-Becher paßt nicht aus das Elektroskop) ... Das is ja traurig. ?...?"
>
> (Ta73107)"Ta:Je: (Aggressiv) ne der paßt nich. Auch wenn du wetten willst. So und jetzt ham wir den als Energiespeicher wieder (Faßt in Richtung Kugel) ... Wo bin ich da rangekommen' (Das Elektroskop hat sich entladen) (entnervt) Ach noch mal den Scheiß."

8.1 8. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

In den ersten 15 Minuten der Stunde war eine Videoaufzeichnung wegen eines Defekts am Videorecorder nicht möglich. Die 1. Handlungsphase wurde deshalb in einem Protokoll beschrieben:

Am Anfang der Stunde wird vom Lehrer die Frage thematisiert: "Was bedeutet, auf einer Platte sind Ladungen gespeichert?"

Im Gespräch zwischen Lehrer und Schülern werden die folgenden Inhalte geäußert:

1. Die Ladungen auf einer Platte schwirren umher.
2. Das Schwirren ist abhängig von der Temperatur der Platte.
3. Die Elektronen auf einer Platte haben einen größtmöglichen Abstand zueinander.
4. Die Elektronen sitzen auf der Oberfläche der Platte.

5. Um die Ladungsdichte zu verändern, kann man bei gleichbleibender Ladungsmenge die Plattengröße verkleinern oder bei gleichbleibender Plattengröße die Ladungsmenge vergrößern.

6. Es gibt drei Methoden, eine Aluminium-Platte zu laden:
   a) Man kann sie mit einer geladenen PVC-Folie berühren.
   b) Man kann sie durch "Influenz und Berühren" laden.
   c) Man kann zwei Platten durch "Influenz und Trennen" laden.

7. Bei einem Ladungsrollo muß Energie zugeführt werden, wenn die Ladungen verdichtet werden. Bei einem aufgerollten Rollo besitzen die Elektronen mehr Energie.

8.2 8. Doppelstunde, 2. Handlungsphase

Die Videoaufzeichnung ist wieder in Betrieb. Vom Lehrer wird initiiert, die Versuche der letzten Stunde (Bau eines guten Ladungsspeichers) fortzusetzen.

80112 :TI :Die Kugel hält nur sehr schlecht auf dem Elektroskop.

80114 :TIn :Das Elektroskop läßt sich über die Kugel mit einer geladenen PVC-
:Folie über "Influenz und Berühren" laden.

80202 :Ts :Wenn die Ladung einer großen Platte vollständig auf eine kleinere
:geschafft wird, läßt sich eine größere Ladungsdichte herstellen.
:Objekt 1: Ladung
:Objekt 2: große Platte
:Objekt 3: kleine Platte
:Eigenschaft 1: ist frei beweglich
:Eigenschaft 2: enthält eine bestimmte Menge frei beweglicher
:Ladung
:Eigenschaft 3: kann die frei bewegliche Ladung der großen Platte
:vollständig aufnehmen
:Beziehung: Auf gleichen Flächen können unterschiedliche
:Ladungsmengen aufgebracht werden.
:Prinzip T7: Negative Ladungen sind kompressibel.

80210 :TI :Wenn sich zwei geladene Aluminium-Platten berühren und die
:Ladungen der einen Platte mit einer geladenen PVC-Folie zusätzlich
:auf die andere Platte gedrückt werden, kann die Ladungsdichte erhöht
:werden.
:Objekt 1: Platte 1
:Objekt 2: Platte 2
:Objekt 3: Ladungen
:Objekt 4: PVC-Folie

:Eigenschaft 1: ist geladen
:Eigenschaft 2: ist geladen wie Platte 1
:Eigenschaft 2: sind frei beweglich
:Eigenschaft 4: ist geladen
:Ereignis 1: Platte 1 berührt Platte 2
:Ereignis 2: Die PVC-Folie wird in Richtung einer der Platte bewegt
:Beziehung 1: Auf gleiche Flächen können unterschiedliche
:Ladungsmengen aufgebracht werden.
:Beziehung 2: Ladungen können durch andere Ladungen bewegt.
:werden.
:Prinzip T7: Negative Ladungen sind kompressibel.

80224 :TI :Mit einer Glimmlampe kann die größere Ladungsdichte bestätigt
:werden.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: ist Nachweisgerät für mehr oder weniger Ladungen
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet hell/weniger hell.
:Beziehung: Bei einer größeren Ladungsdichte enthält die Oberfläche
:einer Platte eine größere Ladungsmenge.
:Programm: "Ladungsnachweis 4" Die Glimmlampe leuchtet bei mehr
:oder weniger Ladung mehr oder weniger hell.

80226 :TIn :Eine Glimmlampe kann auch dann Ladung nachweisen, wenn sie
:nicht am ableitenden Metallteil gehalten wird.

80228 :TS :Wenn die Glimmlampe nicht leuchtet, ist der zu untersuchende
:Gegenstand nicht aufgeladen.
:Objekt 1: Glimmlampe
:Objekt 2: Gegenstand
:Eigenschaft 1: ist Nachweisgerät für Ladung
:Eigenschaft 2: ist geladen/nicht geladen
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

80305 :TIn :Das Verfahren von (80210) führt zum Erfolg, wenn der Versuch
:sorgfältig durchgeführt wird.

80321 :TS :Eine Platte ist entladen, wenn die überschüssigen Ladungen
:heruntergezogen sind.

80403 :TI :Wenn sich zwei geladene Aluminium-Platten berühren und die
:Ladungen der einen Platte mit einer geladenen PVC-Folie zusätzlich
:auf die andere Platte gedrückt werden, wird Energie gespeichert.
:Objekt 1: Platte 1
:Objekt 2: Platte 2
:Objekt 3: Ladungen
:Objekt 4: PVC-Folie
:Eigenschaft 1: ist geladen
:Eigenschaft 2: ist geladen wie Platte 1
:Eigenschaft 2: sind frei beweglich
:Eigenschaft 4: ist geladen
:Ereignis 1: Platte 1 berührt Platte 2.
:Ereignis 2: Die PVC-Folie wird in Richtung einer der Platte bewegt.
:Beziehung 1: Auf gleiche Flächen können unterschiedliche
:Ladungsmengen aufgebracht werden.

		:Beziehung 2: Ladungen können durch andere Ladungen bewegt :werden. :Prinzip T7: Negative Ladungen sind kompressibel. :Prinzip T8: Komprimierte Ladungen enthalten Energie.
80427	:TI	:Eine Platte 3 (große Platte) wird geladen und an eine Platte 2 (kleine :Platte) geschoben. Wird eine geladene PVC-Folie an Platte 2 :gehalten, zieht sie (alle) Teilchen zu Platte 2. Platte 2 ist damit mehr :geladen als Platte 3 (größere Ladungsdichte) und als vorher.
80505	:TIn	:Eine geriebene PVC-Folie ist positiv geladen.
80518	:TI	:Eine Aluminium-Platte läßt sich durch Influenz und Berühren :aufladen.
80612	:TIn	:Eine Glimmlampe läßt sich als Ladungsnachweisgerät benutzen, :auch wenn sie nicht am ableitenden Metallteil gehalten wird.
80710	:Th	:PVC-Folien werden negativ geladen.
80715	:TI	:PVC-Folien werden immer negativ geladen (elektronenhungrig).
80722	:TS	:PVC-Folie werden immer negativ geladen.

Zwischen der letzten Handlungsphase der 7. Doppelstunde und der 2. Handlungsphase dieser Stunde hat ein Gespräch der Klasse mit dem Lehrer stattgefunden, in dem Kompressibilität von negativen Oberflächenladungen, Energie (Ladung)/Oberfläche und Energieänderung bei größerer Ladungsdichte kommuniziert wurden.

In beiden Handlungsphasen hatte Lehrer 1 erreichen wollen, daß die Schüler einen Ladungsspeicher bauen. Tanja organisiert ihre Handlungen in beiden Phasen deutlich anders. Alle Situationen, in denen negative Ladungen auf Plattenoberflächen verschoben werden, werden durch die Prinzipien T7 und T8 zu einer Klasse zusammengefaßt.

Das Programm "Ladungsnachweis 3" (Ta63621) wird erneut modifiziert. "Ladungsnachweis 4" enthält die Eigenschaft der Glimmlampe, mehr oder weniger Ladung durch mehr oder weniger Helligkeit anzuzeigen. Modifikation bedeutet wie schon vorher nicht, daß die anderen Programme ersetzt sind, sie bestehen weiter und werden in entsprechenden Situationen adäquat als Programme mit jeweils zugeordneten Eigenschaften eingesetzt. Die Programme niedrigerer Ordnung enthalten dabei nicht die Eigenschaften der Programme höherer Ordnung und umgekehrt, sofern die Eigenschaften nicht Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Programme höherer Ordnung sind. Z.B. ist das Programm "Ladungserhaltung 1", also die prinzipielle Möglichkeit, mit einer Glimmlampe Ladung nachweisen zu können, notwendiger Bestandteil aller anderen Ladungsnachweisprogramme. Dies kommt in (Ta80228) deutlich zum Ausdruck.

(Ta80226) Ist ein Rückfall in die nicht adäquate Behandlung der Glimmlampe, wie sie in (Ta13022) zum ersten Mal erkennbar ist. Tanja hält die Glimmlampe mit isoliertem Griff an diesem Griff fest und so an eine geladene Aluminium-Platte. Diese Handlung wird in (Ta90612) wiederholt. Ohne den Einsatz der Glimmlampe zu kommunizieren, wird er von Jens korrigiert.

8.3 8. Doppelstunde, 3. Handlungsphase

Die 3. Handlungsphase ist dadurch bestimmt, daß Lehrer 2 sich in die Interaktion einmischt. Alle Ideen und die aus ihnen entwickelten Strukturen sind unter dem Gesichtspunkt zu betrachten, daß die Idee eventuell vom Lehrer formuliert wurde *(s)* und Tanja durch Wiederholung der Idee *(s)*, durch Nicken oder "ja", "hmh" usw. *(sn)*, durch eine kommentierte eigene Handlung *(i)* oder durch eine nicht kommentierte eigene Handlung *(in)* zugestimmt hat. Die Interaktionsanalyse läßt also nur begrenzt Schlüsse über die gebildete oder angewandte Struktur zu.

80801	:TIn	:Eine Kugel auf einem Elektroskop läßt sich durch "Influenz und :Berühren" laden.
80818	:Tsn	:Werden eine geladene große und eine nicht geladene kleine :Aluminium-Platte in Kontakt gebracht, verteilen sich die Ladungen :der großen Platte gleichmäßig auf beide Platten.
80820	:Tsn	:Die gleichmäßige Verteilung hat keinen Zusammenhang zur Fläche :der Platten.
80820	:Tsn	:Gleichmäßige Verteilung bedeutet Verteilung im Verhältnis zur :Plattengröße.
80920	:TIn	:Eine Kugel auf dem Elektroskop läßt sich durch Influenz und :Berühren mit einer geerdeten Glimmlampe aufladen.
80922	:TIn	:Eine Glimmlampe muß am ableitenden Metallteil geerdet sein, um :einen Gegenstand aufzuladen.
81020	:Thn	:Wird ein geladenes Elektroskop mit Kugel erneut mit einer geladenen :PVC-Folie geladen, erhöht sich die Ladungsmenge.
81022	:TIn	:Beim zweiten Ladevorgang darf die Kugel nicht von der PVC-Folie :berührt werden, (da sonst die Ladungen wieder von der Kugel auf die :PVC-Folie zurückfließen).
81123	:Th	:Beim Influenzvorgang werden negative Ladungen von der PVC-Folie :an die Kugel abgegeben.
81130	:Tsn	:Da die PVC-Folie ein Isolator ist, findet keine Ladungsübertragung :statt.

81215 :Tsn :Zwischen einer Soffitten-Glimmlampe und einer Glimmlampe mit :Schraubsockel besteht nur ein technischer Unterschied.

In dieser Phase kommuniziert Tanja mit Lehrer 2 und Jens die Eigenschaftszuordnung "Ladungen verteilen sich gleichmäßig auf der Fläche, die ihnen angeboten wird" und die Beziehungen und Eigenschaften der Influenz.

Deutlich wird die Situationsabhängigkeit des Einsatzes der Glimmlampe. In (Ta80612) erfolgt der Einsatz der Glimmlampe, hier im Programm "Ladungsnachweis 4" benutzt, physikalisch nicht adäquat. In (Ta80922) besteht kein Zweifel, daß die Glimmlampe am ableitenden Metallteil gehalten werden muß. Sie wird in dieser Situation als Objekt des Programms "Ladungserzeugung 4" (Ta53910) benutzt und daher mit anderen Eigenschaften und Beziehungen wahrgenommen.

81316 :Ts :Wird die Oberfläche einer Aluminium-Platte bei gleichbleibender :Ladungsmenge verkleinert, wird die abstoßenden Kraft der Ladungen :untereinander vergrößert
:Objekt 1: Oberfläche der Aluminium-Platte
:Objekt 2: Ladungsmenge
:Eigenschaft 1: kann verkleinert werden
:Eigenschaft 2: bleibt konstant
:Beziehung: Die Ladungsdichte wird vergrößert.
:Prinzip T7: Negative Ladungen sind kompressibel.
:Prinzip T8: Komprimierte Ladungen enthalten Energie.

81405 :TS :Eine Aluminium-Platte kann durch Sägen nicht adäquat verkleinert :werden (um die Ladungsdichte zu vergrößern), da auch der :entsprechende Anteil an Elektronen verloren geht.

81408 :Tsn :Mit einem Ladungsrollo kann ein größere Ladungsdichte durch :Verkleinerung der Oberfläche hergestellt werden.
:Objekt 1: Oberfläche des Ladungsrollos
:Objekt 2: Ladungsmenge
:Eigenschaft 1: kann verändert werden
:Eigenschaft 2: bleibt konstant
:Beziehung: Die Ladungsdichte wird vergrößert.

81428 :Ts :Elektronen können mit einer geladenen PVC-Folie auf eine Seite :einer Aluminium-Platte gezogen werden.

81429 :TS :Elektronen können mit einer geladenen PVC-Folie von einer :größeren Aluminium-Platte auf eine kleinere gezogen werden.

Dieser Abschnitt ist ebenfalls von Lehrerinteraktion bestimmt.

81530	:Tsn	:Werden zwei entgegengesetzt geladene Aluminium-Platten durch :eine PVC-Folie getrennt aufeinander gelegt, sind sie nicht leitend :miteinander verbunden.
81713	:Tsn	:Um von einer positiv geladenen Aluminium-Platte noch mehr :Elektronen abzuziehen, müssen die verbleibenden positiven :Ladungen durch in die Nähe gebrachte negative "beschäftigt" :werden. Dies geschieht durch eine negativ geladene Aluminium- :Platte, die, durch eine PVC-Folie getrennt, in die Nähe der positiven :Platte gebracht wird. Elektronen werden frei und können abgezogen :werden.
81729	:Tsn	:Aneinandergelegte Aluminium-Platten können durch Influenz und :Trennen entgegengesetzt geladen werden.

Lehrer 1 orientiert Tanja und Jens auf den Bau eines Plattenkondensators. Begründet wird die Notwendigkeit einer parallelen Anordnung der Platten mit dem Prinzip "Kompensation". Jens greift das Prinzip auf und ordnet damit (verbal) eine Anordnung "Aluminium-Platte - PVC-Folie - Aluminium-Platte" der Beziehung zwischen Ladungen zu. Er wendet dabei die Prinzipien "zwischen Ladungen wirken Kräfte" und "entgegengesetzte Ladungen neutralisieren sich" (Kompensation) an. Tanja stimmt dem zu, wiederholt die Beschreibung der Situation aber nicht (Ta81713).

Lehrer 2 verläßt die Arbeitsgruppe.

8.4 8. Doppelstunde, 4. Handlungsphase

81822	:Ti	:Eine PVC-Folie kann über eine Glimmlampe entladen werden. :Objekt 1: PVC-Folie :Objekt 2: Glimmlampe :Eigenschaft 1: kann neutral oder geladen sein :Eigenschaft 2: leitet :Beziehung: Eine Glimmlampe stellt eine leitende Verbindung :zwischen PVC-Folie und Masse her.
81829	:TIn	:Styropor-Klötze können als Isolator benutzt werden, um geladene :Aluminium-Platten anzufassen. :Objekt 1: Styropor-Klotz :Objekt 2: Aluminium-Platte :Eigenschaft 1: ist Isolator :Eigenschaft 2: ist geladen :Beziehung: Das Entladen einer Aluminium-Platte beim Transport :kann durch Styropor-Klötze verhindert werden.

81907 :TIn :Platte 2 ist (negativ), Platte 1 (positiv) werden unabhängig
:voneinander geladen. Beide Platten werden übereinandergelegt und
:sind durch eine PVC-Folie getrennt. Um Platte 1 noch mehr positiv
:zu laden, muß sie geerdet werden. Die frei gewordenen negativen
:Ladungen fließen dann zur Masse ab.
:Objekt 1: Aluminium-Platte 2
:Objekt 2: Aluminium-Platte 1
:Objekt 3: PVC-Folie
:Objekt 4: negative Ladung
:Objekt 5: Masse
:Eigenschaft 1: negativ geladen
:Eigenschaft 2: positiv geladen
:Eigenschaft 3: Isolator
:Eigenschaft 4: frei beweglich
:Eigenschaft 5: nimmt negative Ladungen auf
:Ereignis: Am berührenden Finger ist zu spüren, ob die freien
:negativen Ladungen zu Masse abfließen/nicht abfließen.
:Beziehung 1: Die Aluminium-Platten liegen parallel zueinander.
:Beziehung 2: Die Aluminium-Platten sind durch die PVC-Folie
:voneinander isoliert
:Beziehung 3: Die Aluminium-Platten haben einen geringen Abstand
:voneinander.
:Beziehung 4: Freie Ladungen fließen zur Masse ab.
:Prinzip T9: Getrennte entgegengesetzte Ladungen mit geringem
:Abstand neutralisieren sich (Kompensation)
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-
:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen
:Situationen.

81921 :TS :Eine Platte muß vergrößert werden (Vergrößerung der
:Ladungsmenge), damit der Lichtblitz heller wird, .
:Objekt 1: Aluminium-Platte
:Objekt 2: Glimmlampe
:Objekt 3: Ladungsmenge
:Eigenschaft 1: kann unterschiedliche Oberfläche haben
:Eigenschaft 2: zeigt mehr oder weniger Ladung an
:Eigenschaft 3: kann unterschiedlich sein
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet hell/weniger hell
:Beziehung: Eine größere Aluminium-Platte kann eine größere
:Ladungsmenge fassen.

81928 :TI :Die Polarität einer Glimmlampe mit Schraubsockel kann an einer
:geladenen (immer negativen) PVC-Folie festgestellt werde.

82010 :TS :Der untere Pol der Glimmlampe mit Schraubsockel hat an der PVC-
:Folie aufgeleuchtet.

82015 :TS :Die PVC-Folie war negativ geladen.

Organisiert vom Prinzip T9 "Kompensation" werden die Objekte in die Situationsklasse "Bau eines Ladungsspeichers" eingeordnet. Dazu wird eine Beziehung zwischen beiden Aluminium-Platten, einer PVC-Folie als Isolator und einer geladenen PVC-Fo-

lie, einer Glimmlampe als Bestandteil des Programms "Ladungserzeugung 4" und einer Glimmlampe als Element des Programms "Ladungsnachweis 4" (Ta80224) hergestellt.

Als notwendige Folge dieser Strukturierung werden die Objekte bezüglich ihrer Eigenschafts- und Beziehungszuordnungen modifiziert.

8.5 8. Doppelstunde, 5. Handlungsphase

Die nun folgende Handlungsphase beginnt mit einem Lehrervortrag mit zunächst geringer Schülerbeteiligung:

1. (S82120) Die Energie einer geladenen Aluminium-Platte kann erhöht werden, wenn zusätzliche Ladungen aufgebracht werden.

2. (S82401) Werden zwei parallele Platten entgegengesetzt aufgeladen, wirken die entgegengesetzten Ladungen aufeinander. Sie halten sich gegenseitig fest.

3. (S82423) Die Oberfläche der Platten muß möglichst groß sein, um möglichst viel Ladungen aufbringen zu können.

4 (S82502) Die Platten müssen einen geringen Abstand voneinander haben.

5. (S82514) Die Platten eines Ladungsspeichers müssen ein Leiter sein.

6. (S82522) Die Platten müssen gegen Masse isoliert sein.

82529 :TS :Die Platten eines Kondensators dürfen sich nicht berühren, auch :wenn sie dicht zusammen sind.

7. (L182607) Die Dicke der Platten hat keinen Einfluß auf die Ladungsaufnahme, da sich die Ladungen nur an der Oberfläche aufhalten.

82625 :TS :Das Plattenmaterial muß ein Leiter sein.

82626 :TS :Wieviel Ladungen eine Platte aufnehmen kann, liegt an der :Ladungsaufnahmefähigkeit des Plattenmaterials.

82711 :TS :Die Platten eines Kondensator müssen gegeneinander isoliert sein.

82807 :Ts :Der Abstand der Platten muß sehr gering sein.

83009 :TS :Ein Kondensator kann durch Influenz aufgeladen werden.

83101 :TS :Sind zwei Kondensatorplatten gleich geladen, beeinflussen sich die :Ladungen.

83122	:TS	:Werden zwei Aluminium-Platten durch Influenz und Trennung :geladen, wird die Platte, über die die PVC-Folie (negativ) gehalten :wird, positiv.

Tanja beteiligt sich am Gespräch des Lehrers mit der Klasse. Auf eine weitere Analyse der in der Kommunikation erkennbaren Ideen dieser Handlungsphase wird verzichtet, weil keine neuen Prinzipien oder Beziehungen bezüglich des Objekts Ladung konstruiert werden.

8.6 8. Doppelstunde, 6. Handlungsphase

83205	:TIn	:Mit der Glimmlampe läßt sich die Ladung auf einer Aluminium- :Platte überprüfen. Die Glimmlampe muß geerdet sein.
83230	:Tin	:Eine geladene PVC-Folie kann mit einer geerdeten Glimmlampe :entladen werden.
83315	:TI	:Ein Kondensator läßt sich besser aus gleichgroßen Platten herstellen.
83401	:TIn	:Zwei nebeneinanderliegende Aluminium-Platten lassen sich mit :"Influenz und Trennung" aufladen.
83415	:TIn	:Zwei geladene Aluminium-Platten können gegeneinander entladen :werden.
83418	:Th	:Beim Influenzieren muß die PVC-Folie die Aluminium-Platte nicht :berühren.
83603	:TI	:Werden die Pole einer Batterie zusammengehalten, entsteht ein :Kurzschluß.
83621	:Ts	:Zwei Platten lassen sich (durch Influenz und Trennung) besser :aufladen, wenn die geladene PVC-Folie auf einer der Platten liegt :und sie vollständig bedeckt.
83625	:Th2	:Mit zwei geladenen Folien lassen sich zwei Aluminium-Platten noch :stärker laden.
83703	:TIn	:Die Ladung läßt sich vergrößern, wenn eine Aluminium-Platte :zwischen zwei geladenen PVC-Folien liegt.
83715	:TI	:Wird eine PVC-Folie zwischen zwei geladene Aluminium-Platten :gelegt, muß sie entladen sein.
83814	:Th3	:Die beiden geladenen Aluminium-Platten können gegeneinander :entladen werden, wenn gleichzeitig an jede Platte eine verbindende :Glimmlampe angeklemmt wird.

83903	:Th	:Ein Kondensator (zwei übereinander gelegte geladene Platten, die :durch eine PVC-Folie getrennt sind) kann mehr geladen werden, :wenn auf die obere Platte noch eine weitere geladene PVC-Folie :gelegt wird.
83922	:TIn	:Die PVC-Folie kann nicht auf die obere Kondensator-Platte gelegt :werden, weil der Griff der Platte im Weg ist.
83924	:TI	:Wenn eine geladene PVC-Folie später angefaßt wird, kann sie :entladen werden.
84012	:TS	:Die gerade durchgeführten Versuche haben ein anderes Ziel als von :Lehrer 1 vorgeschlagen.
84024	:TI	:Zwei nebeneinanderliegende Aluminium-Platten lassen sich mit :"Influenz und Trennung" aufladen.
84028	:TI	:Eine bei einer Platte überstehende PVC-Folie verhindert, daß die :Aluminium-Platten sich berühren können.
84106	:TI	:Bevor eine PVC-Folie zwischen die beiden Aluminium-Platten gelegt :wird, muß sie entladen werden.
84113	:TI	:Eine Styropor-Scheibe eignet sich als Material zwischen den Platten.
84124	:TS	:Die obere Platte ist negativ geladen.
84202	:Th	:Wird die positive Platte auf der von der negativen Platte abgewandten :Seite geerdet, kann sie zusätzlich geladen werden.
84220	:TS	:Die beiden Aluminium-Platten sollen nicht nur entgegengesetzt, :sondern zusätzlich geladen werden.
84227	:TS	:Die Platten sollen zunächst aufgeladen und dann zusätzlich geladen :werden.
84429	:Ts	:Das Verfahren "Influenz und Trennung" kann auch auf übereinander-:liegende Aluminium-Platten angewandt werden, die durch eine :Styropor-Scheibe voneinander getrennt sind.

Diese Handlungsphase ist dadurch gekennzeichnet, daß beide Schüler nach einem geeigneten Verfahren suchen, die Aluminium-Platten entgegengesetzt gleich aufzuladen und sie parallel anzuordnen. Das Programm "Ladungserzeugung 4" ist offensichtlich auf eine Situation beschränkt, in der die Platten nebeneinander liegen. Die Operation, diese nebeneinanderliegenden geladenen Aluminium-Platten parallel mit einem Isolator dazwischen anzuordnen, verursacht technische Probleme. Die Handlungsphase insgesamt wird deshalb zwar grundsätzlich vom Prinzip T9 "Kompensation" organisiert, die einzelnen Handlungen lassen dies aber nicht erkennen. Sie sind davon geprägt, Eigenschaften und Beziehungen der Objekte im Hinblick auf die Erreichbarkeit des aktuellen Handlungszieles, geladene Aluminium-Platten parallel anzuordnen, zu organisieren.

Ein weiteres Problem wird in (Ta84220) deutlich. Die Orientierung des Lehrers 1 soll erreichen, daß die Schüler einen Ladungsspeicher bauen (Kondensator), der mehr Ladung speichern kann als die bisher im Unterricht benutzten Ladungsspeicher. Tanja weist dieser Orientierung eine andere Bedeutung zu. Sie möchte erreichen, daß ein Ladungsspeicher durch entsprechende Behandlung zusätzliche Ladungen aufnehmen kann. Dies ist ein weiteres Element, das die beschränkte Anwendung des Programms "Ladungserzeugung 4" fördert. Folgender Handlungsablauf ist also von Tanja intendiert: Die Aluminium-Platten sollen nebeneinanderliegend geladen, anschließend vom Prinzip "Kompensation" organisiert übereinandergelegt, um dann noch einmal zusätzlich geladen zu werden. Geplantes Handlungsziel und Einsatz des Programms bedingen sich hier gegenseitig. D.h. es ist nicht zu entscheiden, ob die Handlungsziele den eingeschränkten Einsatz des Programms zur Folge haben oder ob der eingeschränkte Einsatz des Programms das Handlungsziel generiert.

9.1 9. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

In einem Gespräch mit der Klasse versucht Lehrer 1 mit den Schülern die Eigenschaften eines Kondensators zu wiederholen.

90130 :TS :Man kann Teilchen von einer Aluminium-Platte auf
:eine andere bringen und dort speichern.

90201 :TS :Die gespeicherten Teilchen lassen sich nach Belieben wieder von der
:Aluminium-Platte herunterholen.

1. (L190204) Aluminium-Platten sind Ladungsspeicher.

2. (L190206) Zwei parallele Platten nennt man Kondensator.

3. (L190209) Kondensator heißt Verdichter.

4. (S9o214) Die Ladungsspeicherfähigkeit eines Kondensators hängt von der Plattengröße ab.

5. (S90224) Die Ladungsspeicherfähigkeit eines Kondensators hängt vom Plattenabstand ab.

6. (L190318) Ein Hochspannungsgerät ist eine Ladungstrennungsmaschine.

Mit einem Demonstrationsversuch möchte Lehrer 1 zeigen, daß die Ladungsspeicherfähigkeit eines Kondensators vom Plattenabstand abhängt.

7. (L190501) Die Ladungsspeicherfähigkeit nennt man Kapazität.

90626	:TS	:Zwei Aluminium-Platten lassen sich mit einem Hochspannungsgerät :aufladen.
90627	:TS	:Der Abstand der Platten hat einen Einfluß auf den Kondensator.
90707	:Ts	:Die Unterschiedlichkeit der Ladungen zweier Kondensatoren kann :getestet werden, wenn die Kondensatorplatten über eine Glimmlampe :gegeneinander entladen werden.
90714	:TS	:Einen Kondensator laden bedeutet, Elektronen von einer Platte zur :anderen zu bringen.
90726	:Th	:Ein Kondensator muß gegen Masse isoliert aufgestellt werden.

(L190804) Der Versuch wird vom Lehrer 1 so durchgeführt, wie Tanja es vorgeschlagen hat. Zunächst wird der Plattenkondensator (Aluminium-Platten 20cm x 20 cm)bei großem Plattenabstand und dann bei kleinem mit einer Spannung von 7000 V aufgeladen. Die Platten werden über eine Glimmlampe gegeneinander entladen.

90901	:TS	:Bei geringem Plattenabstand leuchtet die zwischen die Platten :gehaltene Glimmlampe heller als bei großem Abstand.
91008	:TS	:Der Name des vom Lehrer 1 vorgestellten Geräts ist "Ladungs- :trennungsmaschine"

Im Gespräch mit dem Lehrer entwirft Tanja den durchzuführenden Versuch. Die vom Lehrer 1 hier eingeführte neue Methode, die Platten des Kondensators zu laden (mit dem Hochspannungsgerät), kann Tanja in die Situationsklasse (Laden eines Gegenstandes) integrieren. Die neue Methode wird nicht zum Programm, da sie von den Schülern selbst nicht angewandt wird. Organisierendes Prinzip des Handlungsabschnitts ist "Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen verschoben werden" (Ta54725). Zur Kontrolle der Beziehung zwischen Plattenabstand und Menge der Ladungen wird das Programm "Ladungsnachweis 4" (Ta80224) benutzt. Tanja nimmt wahr, daß die Glimmlampe bei geringem Plattenabstand heller leuchtet, als bei großem.

8. (S90906) Die Kapazität des Kondensators nimmt bei kleinerem Plattenabstand zu.

9. (L191111) Lehrer 1 nennt: Kapazität (C) und zeichnet das Schaltzeichen ⏚ an die Tafel.

10. (L191509) Lehrer 1 erklärt $C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot A/d$.

91529 :TS :Nimmt der Abstand der Platten eines Kondensators ab, nimmt die :Kapazität zu, weil die entgegengesetzten Ladungen sich mehr :anziehen, wenn der Abstand gering ist.
:Objekt 1: Kondensator
:Objekt 2: negative Ladungen
:Objekt 3: positive Ladungen
:Eigenschaft 1: kann unterschiedlichen Plattenabstand haben
:Eigenschaft 2: entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an
:Eigenschaft 3: entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an
:Beziehung 1: Je geringer der Plattenabstand, desto geringer der :Abstand der entgegengesetzten Ladungen.
:Beziehung 2: Je geringer der Abstand der entgegengesetzten :Ladungen, desto größer die anziehende Kraft zwischen ihnen.
:Prinzip T9: Kompensation
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu :unterscheidender Ladung ist Ursache für Ereignisse in :unterschiedlichen Situationen.

91619 :TS :Die unterschiedlichen Ladungen können sich durch eine isolierende :Schicht hindurch anziehen.
:Die isolierende Schicht verhindert, daß die Ladungen zusammen-:kommen können.
:Objekt 1: positive Ladungen
:Objekt 2: negative Ladungen
:Objekt 3: isolierende Schicht
:Eigenschaft 1: entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an
:Eigenschaft 2: entgegengesetzte Ladungen ziehen sich an
:Eigenschaft 3: leitet nicht
:Beziehung 1: Die anziehenden Kräfte der Ladungen wirken durch :die isolierende Schicht hindurch.
:Beziehung 2: Die isolierende Schicht trennt die Ladungen.
:Prinzip T9: Kompensation
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu :unterscheidender Ladung ist Ursache für Ereignisse in :unterschiedlichen Situationen.

11. (Je91717) Die überschüssigen Elektronen der negativen Platte stoßen die Restelektronen der positiven Platte ab, die deshalb die Platte leichter verlassen können.

91729 :TS :Ist ein Körper positiv geladen, besitzt er keine Elektronen.

12. (Je91806) Negativ bzw. positiv geladen bedeutet, daß er einen Überschuß bzw. Unterschuß an Elektronen besitzt.

13. (L191824) Entgegengesetzte Ladungen halten sich gegenseitig fest.

14. Je dichter die Platten zusammen sind, desto höher ist der Neutralitätsgrad.

15. Die abstoßenden Kräfte der Plattenladungen werden gegenseitig abgeschirmt, deshalb können mehr Ladungen auf die Platten gebracht werden (heruntergeholt werden).

16. Ein Kondensator mit geringem Plattenabstand (PVC-Folie) wird mit 7000 V geladen. Werden die Platten einzeln gegen Masse entladen, wird kaum Ladung frei, werden die Platten gegeneinander entladen, wird viel Ladung frei.

92306 :Ts :Bei einem Kondensator, der mit einem Hochspannungsgerät aufgela-
:den wurde, ist der Lichtblitz einer Glimmlampe schwächer, wenn die
:Platten einzeln gegen Masse entladen werden, als bei einer Entladung
:der Platten gegeneinander, weil die Elektronen der einen Platte von
:den Protonen der anderen Platte festgehalten werden und sich deshalb
:nicht bewegen können.

92319 :TS :Die Glimmlampe leuchtet bei geringem Abstand kaum, weil die
:positiven Ladungen der einen Aluminium-Platte die negativen
:Ladungen der anderen neutralisieren und eine Glimmlampe bei einem
:neutralen Kondensator nicht leuchtet.
:Objekt 1: Kondensator mit kleinem Plattenabstand.
:Objekt 2: Hochspannungsgerät
:Objekt 3: Glimmlampe
:Objekt 4: Elektronen
:Objekt 5: Protonen
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: kann Kondensator laden
:Eigenschaft 3: kann mehr oder weniger Ladung anzeigen
:Eigenschaft 4: ziehen die Protonen der anderen Platte an
:Eigenschaft 5: ziehen die Elektronen der anderen Platte an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet hell/weniger hell.
:Beziehung 1: Weil die Platten einen geringen Abstand haben, können
:die entgegengesetzten Ladungen der beiden Platten sich gegenseitig
:anziehen.
:Beziehung 2: Weil die entgegengesetzten Ladungen der beiden
:Platten sich anziehen, gibt es auf den Platten keine freien Ladungen.
:Beziehung 3: Weil es keine freien Ladungen gibt, kann keine Ladung
:zur Masse abfließen.
:Prinzip T9: Kompensation
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:verschoben werden
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu
:unterscheidender Ladung ist Ursache für Ereignisse in
:unterschiedlichen Situationen.
:System: Die Prinzipien T2, T6 und T9 werden zu einem
:Systemkonzept zusammengefaßt: Ladungen auf einem Platten-
:kondensator.

92402 :Ts :Die entgegengesetzten Ladungen auf den beiden
:Kondensatorplatten halten sich fest.

92708 :TS :Ein Kondensator wird mit "Influenz und Trennung" über eine
:Glimmlampe geladen. Anschließend werden die Platten
:auseinandergezogen und über eine Glimmlampe entladen. In beiden
:Fällen wechselt die gleiche Ladungsmenge die Platten.
:Objekt 1: geladener Kondensator
:Objekt 2: Glimmlampe
:Objekt 3: Ladungsmenge
:Eigenschaft 1: kann unterschiedliche Plattenabstände haben
:Eigenschaft 2: kann hell/weniger hell leuchten
:Eigenschaft 3: ist verschiebbar
:Beziehung 1: Die Anwendung des Programms "Ladungserzeugung 4"
:verschiebt eine bestimmte Ladungsmenge von einer Platte des
:Kondensators zur anderen.
:Beziehung 2: Die Anwendung des Programms "Ladungsnachweis 1"
:verschiebt eine bestimmte Ladungsmenge von einer Platte des
:Kondensators zur anderen.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:verschoben werden.
:Prinzip T5: Auf der Oberfläche eines Gegenstands bleibt die
:Ladungsmenge konstant, wenn der Gegenstand nicht berührt
:(geerdet) wird.
:(Eigenschaft 4: Die Glimmlampe verbraucht keine Ladung.)

Tanja kann in dieser Phase der Handlung darlegen, wie sie einen Kondensator konstruiert. Das Prinzip T9 (Kompensation) spielt dabei eine besondere Rolle. Es war in (Ta81907) zum ersten Mal erkennbar und ist dort aus eigener Tätigkeit (nicht orientiert) entstanden. Später erst wurde die Idee vom Lehrer 1 (L191824) genannt und im Gespräch als strukturierendes Element benutzt. Das Besondere dieser Handlungsphase liegt darin, daß die von Tanja benutzten Strukturelemente auf der Prinzipebene in der Kommunikation erkennbar sind. Offenbar besteht ein Zusammenhang zwischen der für die Organisierung der Handlung benutzten Wahrnehmungsebene und der Kommunikationsfähigkeit. Wie POWERS vermutet, ist die Wahrnehmung von Wörtern Ergebnis der 5. Wahrnehmungsebene. Über die Ebene der Wahrnehmung grammatikalischer Konstruktionen oder der Einbindung von Bedeutungen in Wort- oder Satzkonstruktionen wird nichts ausgesagt. Eine konsequente Fortschreibung des Modells in diesem Sinn würde Kommunikationsfähigkeit in einer bestimmten Situation höheren (als der 5.) Ebenen der Wahrnehmung zuordnen. Dies könnte erklären, daß die beobachteten Schüler ihre Handlungen auf niedrigeren Ebenen der Wahrnehmung mit sehr unspezifischen Ausdrücken begleiten und dennoch untereinander, sofern sie in einem engen Handlungszusammenhang stehen, konsensuelle Bereiche bilden können. Zitate aus der 1., 8. und der 9. Doppelstunde sollen dies erläutern:

(Ta10201)"Ta:Je:Paß auf jetzt könnten wir das doch so machen ... jetzt machen wir erst mal mit dem Lappen weiter."
(Ta10605)"Ta:Je: Du den müssen wir jetzt hiermit noch mal probieren ... nö (nimmt Trockentuch in die Hand) Ja weil das ... das haben wir nur mit ?...?

probiert das ... dieses Ding hier (nimmt PVC-Folie in die Hand. Tanja und Jens halten eine Seite der Folie fest, Tanja reibt mit dem Trockentuch über die Folie, sie steht dabei)
So jetzt (Beugt den Kopf zur Folie hinunter, um Jens besser zusehen zu können) Ja geht."
(Ta10927)"Ta: Dann müßte das auch wieder mit all diesen Dingern gehn ne (zeigt undifferenziert auf dem Tisch herum)"
(Ta/Je13301)"Je: Das is glaub ich Anziehn.
Ta: Hier zieht sich doch alles an (...) Aber warum geht das denn nich' (Nimmt Je den Lederlappen aus der Hand und reibt damit die PVC-Folie)
Je: Das geht doch.
Ta: Das geht'
Je: (Streicht mit der Glimmlampe über die Folie, die Lampe leuchtet)
Ta: Das geht. (Erleichtert)"

(Ta80501) "Ta: Ja aber jetzt hat sich das verteilt. (Zeigt aus Platte 2) ... lad mal bitte richtig auf ganz kurz (lacht)
(Steht auf und schiebt Platte 2 an Platte 3) und dann' mußt du jetzt noch ne Folie aufladen und damit an die kleine Platte gehn"
(Je91723) "Je:L1: Die Elektronen der oberen Platte stoßen ja auch ähh Elektronen der unteren Platte ab' und sind dadurch sind die vielleicht auch leichter runter zu bekommen."
(Ta92318) "Ta:L1: Ja äh also das sind ja unten genausoviele P ... also zum Beispiel unten genausoviele Protonen wie oben Elektronen oder umgekehrt, und die ziehn sich ja wieder an und weil die so dicht beieinander sind, die Platten, ist das fast so wie ein neutraler Zustand und beim neutralen Zustand blitzt die Lampe ja auch nicht."

In den Beispielen aus der 8. und 9. Doppelstunde wird deutlich, daß Objekte und Beziehungen, mit denen bisher häufig Situationen organisiert werden konnten, mit adäquaten Wörtern kommuniziert werden. Immer wieder gibt es aber auch in diesen Stunden Szenen, in denen deutlich wird, daß neu entstandenen Eigenschaften oder Beziehungen zunächst kein Wort zugeordnet wird. In (Ta80501) beschreibt Tanja, daß sich Elektronen auf einer Metalloberfläche gleichmäßig verteilen.

Außerdem ist zu erkennen:

In der Kommunikation mit dem Lehrer werden von Tanja Prinzipien eingesetzt, um die Eigenschaften und Beziehungen auf einem geladenen Plattenkondensator zu beschreiben. Zum ersten Mal wird ein System (mehrere Prinzipien werden in einer Situation zu ihrer Organisierung benutzt) erkennbar. Zu erwarten ist von jetzt an, daß alle neue Situationen mit diesem System organisiert werden und daß es für Tanja leicht sein wird, neue (aber ähnliche) Situationen einer Situationsklasse dieses subjektiven Erfahrungsbereichs zuzuordnen. Zu vermuten ist weiterhin, daß die Verbindung der bisher gebildeten Situationsklassen (durch die Prinzipien festgelegt) untereinander stärker und vielfältiger werden, bis es eine Differenzierung des subjektiven Erfahrungsbereichs in diese Situationsklassen nicht mehr gibt. Durch die folgende Handlungsphase wird dies bereits angedeutet.

9.2 9. Doppelstunde, 2. Handlungsphase

92812	:TI	:Liegen zwei Aluminium-Platten plan übereinander, kann die untere :Platte mit der oberen kurzzeitig angehoben werden.
92816	:TIn	:Ein Kondensator kann aus zwei Aluminium-Platten und einer :Styropor-Scheibe als Dielektrikum gebaut werden.
92828	:TIn	:Geladene Kondensatorplatten können über eine Glimmlampe :gegeneinander entladen werden.
92911	:TI	:Der Blitz beim Laden und beim Entladen ist bei :unverändertem Plattenabstand gleich hell.
93016	:TI	:Das Polyester-Lineal läßt sich mit jedem Jeansstoff gleich gut laden.
93020	:TI	:Der Entladeblitz der Glimmlampe ist heller, wenn :die geladenen Platten auseinandergezogen werden.
93326	:Ti	:Beim Be- und Entladen über eine Glimmlampe leuchtet die Lampe :jeweils an der anderen Seite auf.

Sehr sicher werden von Tanja mehrere Handlungen organisiert, die in vorherigen Handlungen unterschiedlichen Situationsklassen zugeordnet werden mußten. Die Handlungen beim Laden und Entladen des Kondensators und die Wahrnehmung der Beziehung "die Glimmlampe leuchtet heller, wenn die geladenen Platten auseinandergezogen entladen werden" deuten aber darauf hin, daß die Handlungen nach den Prinzipien organisiert werden, die Tanja in der 1. Handlungsphase dieser Stunde, also unmittelbar vorher, in der Kommunikation erkennen ließ, und die dort durch das System "Ladungen auf einem Plattenkondensator" organisiert werden.

10.1 10. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

Der Unterricht beginnt mit einem Gespräch des Lehrers 1 mit der Klasse. Tanja beteiligt sich an diesem Gespräch.

100430	:TS	:"Influenz und Trennung" ist eine geeignete Methode zum Laden von :Kondensatorplatten. (Programm "Ladungserzeugung 4")
100505	:TS	:Kondensatorplatten können bei unterschiedlichem Abstand der :Platten geladen und über eine Glimmlampe gegeneinander entladen :werden.

1. (S100602) Dadurch, daß die Kondensator-Platten auseinandergezogen werden, wird Arbeit verrichtet. Die Ladungen müssen getrennt werden. Dadurch erhält das System mehr Energie, die durch den Entladungsblitz wieder frei wird.

100627 :TS :Die Arbeit, die aufgewandt werden muß, um die geladenen :Kondensatorplatten zu trennen, wandelt sich in Energie um.

100708 :TS :Ein Kondensator ist geladen. Bei geringem Plattenabstand ziehen :sich die (überschüssigen) Protonen und Elektronen der beiden Platten :gegenseitig so an, daß fast ein neutraler Zustand erreicht ist.

100713 :TS :Werden die Platten eines geladenen Kondensators getrennt, wird die :anziehende Kraft wegen des größeren Abstands kleiner und dadurch :die abstoßende Kraft der gleichen Ladungen auf den Platten größer. :Die Ladungen streben deshalb von der Platte herunter.

2. (Je100728) Die Anziehungskraft der Ladungen geht durch die isolierende Folie zwischen den Kondensator-Platten hindurch.

3. (S100810) Bei geringem Plattenabstand bekommt man mehr Ladungen auf den Kondensator als bei großem. Deshalb ist die Energie pro Ladung größer, wenn der Kondensator bei kleinem Plattenabstand geladen wird und die Platten dann voneinander entfernt werden, als wenn der Kondensator mit großem Plattenabstand geladen worden wäre.

4. (L1100828) Kompensation verringert das Bestreben der Elektronen, die Kondensator-Platten zu verlassen.

5. (S100920) Die Ladungsmenge und die Ladungsdichte ändern sich nicht, wenn der Plattenabstand vergrößert wird.

6. (S100927) Wird der Plattenabstand vergrößert, nimmt die Kompensation ab.

101021 :TS :Ladungsdichte ist Ladungsmenge durch Fläche.

101028 :TS :Ein geladener Kondensator besitzt elektrische Energie.

7. (L1101201) Die elektrische Energie eines geladenen Kondensators wird durch Arbeit (Vergrößerung des Plattenabstands) vergrößert.

Lehrer 1 stellt die Aufgabe, einen Kondensator an ein Elektroskop anzuschließen, ihn zu laden und anschließend den Plattenabstand zu vergrößern.

101315 :TIn :Leuchtet die beim Laden benutzte Glimmlampe nicht, ist der :Kondensator nicht geladen.

101319 :TI :Ein Plattenkondensator läßt sich mit einem Polyester-Lineal mit :"Influenz und Trennung" laden.

101408 :Tsn :Der Kondensator kann besser mit einer PVC-Folie :geladen werden.

101428 :Tin :Die obere Platte des Kondensators ist mit einem Elektroskop :verbunden. Der Elektroskop-Zeiger hebt und senkt sich mit dem :Vergrößern und Verkleinern des Plattenabstandes.

101608 :Ti :Ein Kondensator läßt sich auch laden, wenn statt der PVC-Folie eine :Styropor-Scheibe als Dielektrikum benutzt wird.

101613 :TI :Ein Gegenstand kann durch Anfassen entladen werden.

101808 :TS :Die Ladungsdichte ist bei einem geladenen Plattenkondensator :unabhängig vom Plattenabstand.

101815 :TS :Die Kompensation bei einem geladenen Plattenkondensator :verringert sich mit zunehmendem Plattenabstand.

101820 :TS :Das Ladungsausgleichsbestreben eines geladenen Plattenkondensator :verringert sich mit zunehmendem Plattenabstand.

102120 :TS :Zwei Plattenkondensatoren werden verglichen. Die Fläche des einen :ist doppelt so groß wie die des anderen. Er kann bei gleicher :Spannung die doppelte Ladungsmenge aufnehmen, die Ladungs-:dichte, die Kompensation und die Energie (meint Energie/Ladung) :bleiben gleich.

102310 :TS :Wird der Plattenabstand eines geladenen Plattenkondensators :vergrößert, vergrößert sich die Kompensation.

8. Wird ein geladener Kondensator im Verhältnis 1:2:3 geteilt, ändert sich die Energie pro Plattengröße nicht, da auch die Energie im Verhältnis 1:2:3 geteilt wird.

102516 :TS :Wird bei einem Plattenkondensator nur die Fläche geändert, bleibt :das Verhältnis Energie/Plattenfläche konstant, wenn er mit der selben :Einstellung am Hochspannungsgerät geladen wird.

102601 :TS :Wird bei einem Plattenkondensator nur die Fläche geändert, ist die :Energie zur Plattenfläche proportional, wenn er mit der selben :Einstellung am Hochspannungsgerät geladen wird.

9. (L1102627) Wird an einem geladenen Plattenkondensator nur die Fläche geändert, bleibt die Energie, die das System pro Ladung besitzt, gleich.

10. (L1102710) Spannung ist Energie pro Ladung.

102712 :TS :Wird bei einem Plattenkondensator nur die Fläche geändert und der :Kondensator mit der gleichen Einstellung am Hochspannungsgerät :geladen, bleibt die Spannung konstant.

103025 :TIn	:Ein Elektroskop läßt sich mit einer PVC-Folie über :"Influenz und Berühren" aufladen.
103126 :Tin	:Fusseln werden von einem geladenen Polyester-Lineal angezogen. :Nach kurzer Zeit werden sie abgestoßen, weil sie die Ladung des :Lineals annehmen.
103214 :TI	:Ein Polyester-Lineal ist entladen, wenn ein Elektroskop nicht :ausschlägt, wenn das Lineal auf den Elektroskop-Teller gehalten :wird.
103220 :TS	:Die Abstoßung der Fusseln kann nicht immer wahrgenommen :werden.

Diese 10. Doppelstunde hat insgesamt den Charakter eines Gesprächs des Lehrers mit der Klasse, das von einzelnen Versuchen (auch Schülerversuchen) unterbrochen wird. Eine Interaktionsanalyse ist nur unvollständig durchzuführen, da Tanja sich zeitweilig nicht am Unterricht beteiligt und wenn sie sich beteiligt, nur Schlußfolgerungen äußert, die durch eine Frage des Lehrers bestimmt werden. Die hier zu erkennenden Wissenselemente lassen sich direkt der Ideenliste entnehmen.

11.1 11. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

In der vorangegangenen Doppelstunde wurde ein Physiktest geschrieben:

Aufgabe 1:	Was heißt "ein Körper ist elektrisch geladen"?
Aufgabe 2:	Was versteht man unter "Reibungselektrizität"
Aufgabe 3:	Was unterschiedet Leiter und Nichtleiter?
Aufgabe 4:	Warum wird ein neutraler Nichtleiter von einem geladenen Körper angezogen?
Aufgabe 5:	Warum wird ein neutraler Leiter von einem geladenen Körper angezogen?
Aufgabe 6:	Was bedeutet "Erdung" in elektrischer Hinsicht?
Aufgabe 7:	Macht der Begriff Kondensator (= Verdichter) einen Sinn für dessen Eigenschaften?
Aufgabe 8:	Was passiert beim Zusammenrollen eines geladenen Ladungsrollos?
Aufgabe 9:	An zwei gleiche Kondensatoren werden unterschiedlich hohe Spannungen angelegt. Was passiert? Was unterscheidet jetzt die beiden Kondensatoren?
Aufgabe 10:	Was ist die Ursache von Spannung zwischen zwei Körpern?

Aufgabe 11: Kannst Du einen Zusammenhang herstellen zwischen dieser Ursache und dem Begriff U = Energie pro Ladung?

Aufgabe 12: Warum herrscht bei hoher Spannung zwischen zwei Polen auch hohes "Ausgleichsbestreben"?

Aufgabe 13: Ein kleiner und ein großer Kondensator werden an die gleiche Spannungsquelle angeschlossen. Was ist jetzt gleich, was unterschiedlich bei beiden Kondensatoren?

Die Aufgaben 7 - 13 werden diskutiert:

110108 :TS :Der Begriff "Kondensator" ist berechtigt, weil in ihm Elektronen :verdichtet werden.

110112 :TS :Verdichten bedeutet, daß ein Stoff mehr Elektronen aufnehmen und :speichern kann als er eigentlich besitzt.

110117 :TS :Ein Kondensator muß aus einem Leiter bestehen, der isoliert ist.

1. (Je110204) Um die Kapazität eines Kondensators zu erhöhen, ist es wichtig, den Plattenabstand möglichst klein zu machen, damit sich die unterschiedlichen Ladungen auf den Platten möglichst neutralisieren.

2. (S110218) Wird ein geladenes Ladungsrollo zusammengerollt, wird die Oberfläche verkleinert und die Ladungsdichte und die Energie bei gleichbleibender Ladungsmenge vergrößert.

3. (Pe110225) Zwei gleiche Kondensatoren mit höherer unterschiedlicher Spannung unterschieden sich in Ladungsmenge, Energie, Ladungsdichte und Kompensation.

110303 :TS :Werden zwei gleiche Kondensatoren mit unterschiedlicher Spannung :geladen, unterscheiden sie sich in ihrer Spannung und ihrer :Ladungsdichte.

4. (S110312) Werden zwei gleiche Kondensatoren mit unterschiedlicher Spannung geladen, ist ihre Kompensation gleich.

5. (S110323) Die Ursache für Spannung ist das Bestreben der getrennten Protonen und Elektronen, sich auszugleichen. Eine andere Ursache ist der Ladungsdichteunterschied.

6. (S110407) Je größer die Ladungsdichte, desto mehr Spannung und Energie besitzen sie.

7. (Pe110415) Werden zwei unterschiedliche Kondensatoren an die gleiche Spannungsquelle angeschlossen, unterscheiden sie sich in Ladungsdichte und Energie. Kompensation und Ladungsdichte sind gleich.

110425 :TS :Zwei Kondensatoren sind bis auf ihre Oberfläche gleich. Werden sie :mit gleicher Spannung geladen, besitzt der Kondensator mit der :größeren Oberfläche die größere Energie.

8. (L1110518) 1 Volt = 1 Joule/1 Coulomb.

110528 :TS :Die Herleitung 1V = 1J/1C ist leicht zu verstehen.

Es folgt eine Rechenübung mit der gerade genannten Gleichung. Anschließend baut Lehrer 1 einen Kondensator aus zwei Aluminium-Folien und einer Polyester-Folie (mit einer Oberfläche von etwa 1m · 1m). Lehrer 1 legt die Folien abwechselnd übereinander, steckt an beiden Seiten zwei Kabel zwischen Aluminium-Folie und Polyester-Folie und faltet den Kondensator klein zusammen.

110904 :TS :Der von Lehrer 1 gebaute Kondensator aus zwei Aluminium-Folie :und einer PVC-Folie soll geladen werden.

Lehrer 1 vergleicht mit der Hilfe von Jens die Kapazität des gerade gebauten Kondensators mit der Kapazität des Kondensators aus Aluminium-Platten und PVC-Folie.

9. (L1111006) Die Kapazität des gerade gebauten Kondensators ist um den Faktor 5000 höher als die Kapazität des Kondensators aus Aluminium-Platten.

11.2 11. Doppelstunde, 2. Handlungsphase

Die Schüler erhalten nun Kondensatoren mit einer Kapazität von 0,22 F bei einer Spannung von 10 V, Batterien, Kabel und Lampen. Lehrer 1 initiiert Versuche mit diesem Material.

111019 :TI :Mit Batterie, Kondensator, Lampen und Kabel können keine :interessanten Versuche durchgeführt werden.

111120 :TI :In einer Reihenschaltung aus Batterie, Lampe und Kondensator wird :das Leuchten der Lampe immer schwächer.
:Objekt 1: Batterie
:Objekt 2: Lampe
:Objekt 3: Kondensator
:Eigenschaft 1: kann den Kondensator laden
:Eigenschaft 2: leuchtet/leuchtet nicht
:Eigenschaft 3: kann geladen werden
:Ereignis: Das Leuchten der Lampe wird immer schwächer.
:Beziehung: Batterie, Lampe und Kondensator sind in Reihe :geschaltet.

111228 :TS :Die Lampe in einem Stromkreis kann nur dann leuchten, wenn der :Stromkreis geschlossen ist.

111230 :TIn :Enthält ein Stromkreis mit Lampe einen Wackelkontakt, flackert die :Lampe.

111310 :TI :Eine Schaltung funktioniert nicht, wenn in ihr ein Kurzschluß :enthalten ist.
:Prinzip 10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn :er geschlossen ist.

111405 :TS :Die gerade durchgeführten Versuche sind nicht neu.

111418 :TS :Ist ein Kondensator bereits aufgeladen, kann er mit der selben :Spannung nicht noch weiter aufgeladen werden. Die Lampe leuchtet :nicht mehr.
:Objekt 1: Kondensator
:Objekt 2: Batterie
:Objekt 3: Lampe
:Eigenschaft 1: ist geladen
:Eigenschaft 2: hat eine bestimmte Spannung
:Eigenschaft 3: leuchtet/leuchtet nicht
:Ereignis: Nach einiger Zeit leuchtet die Lampe nicht mehr.
:Beziehung: Die Spannung der Batterie ist dafür verantwortlich, daß :der Kondensator geladen wird.

111428 :Th :Dieser Kondensator darf zum Entladen kurzgeschlossen werden, da :er das schon einmal unbeschadet überstanden hat.

111524 :TS1 :Die Durchführung der von Lehrer 1 vorgeschlagenen Versuche ist ein :Spiel.

111610 :TIn :Kondensator und Lampe sind parallel geschaltet. Wird die Schaltung :unterbrochen, wird auch der Entladevorgang unterbrochen. Beim :Schließen des Stromkreises wird der Entladevorgang fortgesetzt.
:Objekt 1: Kondensator
:Objekt 2: Lampe
:Eigenschaft 1: ist geladen
:Eigenschaft 2: leuchtet/leuchtet nicht
:Ereignis: Das Leuchten der Lampe wird immer schwächer.
:Beziehung: Der Kondensator wird über die Lampe entladen.
:Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn :er geschlossen ist.

111612 :TIn :Der Entladevorgang ist endlich.

111617 :TI :Die Entladezeit kann mit einer Uhr gemessen werden.

111620 :TI :Die Entladung ist abgeschlossen, wenn kein Strom mehr durch das :Kabel fließt.

111630 :TS :Die Aufladung ist abgeschlossen, wenn kein Strom mehr durch das :Kabel fließt.

111702 :TS	:Die Aufladung ist abgeschlossen, wenn die Lampe nicht mehr :leuchtet.
111710 :Ts	:Ist die Lampe zur Batterie parallel geschaltet, leuchtet die Lampe, bis :die Batterie leer ist.
111917 :TS	:Es ist nicht bekannt, warum die Lampe nach einer gewissen Zeit :aufhört zu leuchten.
112020 :TI	:Wenn der Kondensator entladen ist, kann die Lampe nicht mehr :leuchten.
112029 :TIn	:Die Schaltungsvorschläge von Lehrer 1 können nachgebaut werden.
	:Prinzip T11: Lade- und Entladevorgänge am Kondensator sind :endlich.

Dadurch, daß in dieser Handlungsphase die Lernumgebung dramatisch geändert wird, (das bisher benutzte Material wird nicht mehr benutzt), kann Tanja die neue Situation keiner bisher im subjektiven Erfahrungsbereich gebildeten Situationsklasse zuordnen. Das Wort "Kondensator", das bisher bereits Eigenschaft des Objekts "Kondensator" war, reicht nicht aus, eine Eigenschaftszuordnung zu rekonstruieren. Die ersten Handlungen werden deshalb nicht mit Prinzipien organisiert, die bisher im Verlauf der Bildung des subjektiven Erfahrungsbereichs bereits konstruiert werden konnten. Die Organisierung der Handlung gelingt Tanja aber mit einem anderen subjektiven Erfahrungsbereich, den ich "Erfahrung mit elektrischen Stromkreisen" nenne. (SEB 2 im Gegensatz zum bisher aufgebauten SEB 1). Zunächst besteht keine Beziehung zwischen beiden subjektiven Erfahrungsbereichen, sie kann aber schnell hergestellt werden. Das Ereignis "das Leuchten der Lampe wird immer schwächer" führt zu einer Diskrepanz, die in SEB 2 nicht verringert werden kann. Verbindungselement zu SEB 1 wird das neu entwickelte Prinzip "Lade- und Entladevorgänge am Kondensator sind endlich", das neue Handlungsziele generiert.

112128 :TS	:Wird ein Kondensator geladen, gibt eine Kondensatorplatte :Elektronen ab, die andere nimmt Elektronen auf. :Objekt 1: Kondensator :Objekt 2: Platte 1 :Objekt 3: Platte 2 :Eigenschaft 1: besteht aus Platte 1 und 2 :Eigenschaft 2: kann Elektronen abgeben :Eigenschaft 3: kann Elektronen aufnehmen :Beziehung: Ein Kondensator ist geladen, wenn Ladungen von einer :Platte auf die andere verschoben werden. :Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen :verschoben werden.

112211	:Tsn	:Können keine weiteren Elektronen auf die Platten gepumpt werden, :ist der (Ladungs?) Druck im Inneren des Kondensators zu groß.

Die Erfahrung mit Stromkreisen (SEB 2) kann durch Prinzip T6 mit der Erfahrung fließender Ladungen im SEB 1 verbunden werden. (Ta112211) wird zur Interpretation nicht herangezogen, da die Idee von Jens geäußert wurde und Tanja ihr nur zugestimmt hat. Diese hier als Verbindung zwischen SEB 1 und SEB 2 zu interpretierende Interaktion (Ta112128) ist auf die Klasse von Situationen beschränkt, die die Verbindung ermöglicht haben. Also auf der einen Seite alle Situationen, in denen in SEB1 ein Kondensator und die Verschiebung von Elektronen beteiligt sind (Prinzip T6), und in SEB 2 alle Situationen, in denen die ungehinderte Verschiebbarkeit von Strom im Stromkreis eine Rolle spielt. Die Verbindung besteht also lediglich darin, daß eine Subsituation (Ta112128) innerhalb eines subjektiven Erfahrungsbereichs (SEB 2) mit einem Prinzip aus einem anderen subjektiven Erfahrungsbereich (SEB 1) organisiert werden kann. Über das organisierende Prinzip aus SEB 2 kann nichts ausgesagt werden, da dieser subjektive Erfahrungsbereich nicht in seiner Entstehung beobachtet werden konnte. Vermutlich hat dieses Prinzip etwas damit zu tun, daß Stromkreise geschlossen sein müssen, um einen ungehinderten Fluß des Stroms zu ermöglichen. Inwieweit das Objekt "Ladung" aus SEB 1 mit seinen Eigenschaften "frei verschiebbar", "negativ", "Elektronen", "Kraft ausübend", "das Gegenteil der positiven Ladung" zu sein usw. das Objekt "Strom" aus SEB 2 beeinflußt, ist hier nicht zu erkennen.

11.3 11. Doppelstunde, 3. Handlungsphase

112506	:Ts	:Ist ein Kondensator geladen, ist die Spannung an Kondensator und :Batterie gleich groß.
112603	:TS	:Je kürzer die Aufladezeit, desto kürzer die Entladezeit.
112618	:Tsn	:Die Elektronen fließen beim Entladen nicht vom Kondensator in die :Lampe.
112622	:TS	:Die Elektronen sind die beweglichen Ladungen.
112706	:Tin	:Mit einer Uhr kann die Entladezeit eines Kondensators in :Abhängigkeit zur Aufladezeit bestimmt werden.
112927	:Tsn	:Die Entladezeit hängt nicht von der Aufladezeit ab.
112927	:TS	:Die Entladezeit hängt von der Größe des Kondensators ab.
113027	:Ti	:Die Aufladezeit des Kondensators kann auch weniger als 5 s :betragen.

113213 :TS	:Es ist nicht zu erkennen, daß die Lampe bei kürzerer Aufladezeit :länger im dunklen Bereich leuchtet.
113225 :Tin	:Die Versuchsvorschläge von Lehrer 1 können abgearbeitet werden.
113303 :TS	:Der "*" in der Zeichnung des Lehrers 1 bedeutet, daß der :Kondensator geladen ist.
113308 :TI	:Wird ein Kondensator kurzgeschlossen, entlädt er sich in 24 s.
113316 :Tsn	:Wird ein Kondensator kurzgeschlossen, entlädt er sich blitzartig.
113318 :TIn	:Mit einer Lampe kann überprüft werden, ob ein Kondensator :entladen ist.
113406 :TIn	:Ein Kondensator kann mit einer Batterie und zwei Lampen in Reihe :geschaltet und so geladen werden.
113408 :Th	:Die Lampen leuchten beim Aufladen nicht, wenn der Kondensator :bereits geladen ist.
113412 :TI	:Die Lampen leuchten beim Entladen nicht, wenn sie nicht richtig in :die Fassung gedreht sind.
113419 :Th	:Mit zwei Lampen kann der Kondensator nicht geladen werden.
113512 :Th	:Der Kondensator kann nicht geladen werden, wenn die Batterie leer :ist.
113527 :Ti	:Die Lampe leuchtet nicht, wenn sie defekt ist.
113530 :Tsn	:In einer Reihenschaltung mit Batterie, zwei Lampen und einem :Kondensator leuchten beide Lampen, wenn der Kondensator geladen :wird.
113607 :TS	:Eine Lampe ist defekt, wenn sie nicht leuchtet, wenn sie an eine :Batterie angeschlossen wird.
113706 :TS	:Um die Versuchsvorschläge des Lehrers 1 weiter zu bearbeiten, ist :ein Ampèremeter notwendig.
113716 :Tin	:Die Entladezeit kann mit einer Uhr bestimmt werden, wenn der :Kondensator über zwei Lampen entladen wird.
113730 :TS2	:Ein Kondensator ist nach 1 s vollständig geladen, wenn man ihn ohne :Widerstand lädt.
113820 :TI	:Ein Kondensator kann über zwei parallel geschaltete Lampen :entladen werden.
113902 :TI	:Ein Kondensator kann über zwei in Reihe geschaltete Lampen :entladen werden.

In dieser Handlungsphase probiert Tanja das neue Material aus. Die Idee (Ta112506) ist eine Idee, die von Lehrer 1 stammt. Tanja ergänzt einen Satz, den Lehrer 1 anfängt:

(L1112504)"L1:(Lehrervortrag) ... Es stimmt jetzt überein ... U Kondensator gleich U U' ja U Kondensator gleich U'
Ta:L1: Batterie.
L1: Batterie. Ganz genau. ..."

In dieser Situationen ist nicht zu entscheiden, ob die Idee lediglich eine für Tanja logische Weiterentwicklung der Sprechhandlung des Lehrers ist, auf diese Situation bezogen und ohne prinzipielle Verbindung zu anderen Situationen oder eine für Tanja adäquate Verbindung zur Situationsklasse "negative Ladungen können auf Leiteroberflächen verschoben werden" besitzt. Deutlich wird, daß Tanja bezogen auf elektrischen Stromkreise mit Kondensator und Lampe eine Idee, die den Verbrauch von Elektronen in der Lampe voraussetzen würde, ausdrücklich ablehnt (Ta112618):

(L1112616)"L1: Ja wo geht denn die Ladung hin'
S:L1: Ja in das Lämpchen.
Ta:S: mm (verneinend, zeigt auf)"

Ob diese Sprechhandlung von einem Prinzip organisiert wird oder ob sie nur auf diese eine Situation bezogen werden kann, ist nicht zu erkennen.

12.1 12. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

In einem langen Gespräch des Lehrers 1 mit den Schülern der Klasse werden zunächst die Ladungs- und Stromverhältnisse in einem Stromkreis mit Batterie, Kondensator und Lampe (beim Laden) und mit Kondensator und Lampe (beim Entladen) kommuniziert. Lehrer 1 bezieht sich auf die Versuche, die in der letzten Stunde gemacht wurden. Zu diesen Versuchen sollten Versuchsprotokolle schriftlich angefertigt werden. Tanja hat kein Protokoll angefertigt.

120229 :TS :In einem Stromkreis mit Batterie, Lampe und geladenem
:Kondensator ist nicht die zu geringe Spannung Ursache dafür, daß die
:Lampe nicht mehr leuchtet.

120230 :TS :In einem Stromkreis mit Batterie, Lampe und geladenem
:Kondensator leuchtet die Lampe nicht mehr, wenn keine Elektronen
:mehr fließen können.
:Objekt 1: Batterie
:Objekt 2: Lampe
:Objekt 3: Kondensator
:Objekt 4: Elektronen

:Eigenschaft 1: lädt Kondensator
:Eigenschaft 2: kann (fließende) Ladung nachweisen
:Eigenschaft 3: kann geladen werden
:Eigenschaft 4: können Lampe zum Leuchten bringen
:Ereignis: Die Lampe wird langsam dunkler.
:Beziehung: Batterie, Lampe und Kondensator befinden sich in
:einem Stromkreis.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:verschoben werden.
:Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn
:er geschlossen ist.

120401 :TS :Batteriepole zeichnen sich dadurch aus, daß sich auf dem einem Pol
:zu wenig und auf dem anderen zu viel Elektronen befinden.
:Objekt 1: Batteriepol 1
:Objekt 2: Batteriepol 2
:Objekt 3: Elektronen
:Eigenschaft 1: besitzt Überschuß an Elektronen
:Eigenschaft 2: besitzt Mangel an Elektronen
:Beziehung: Die Batterie ist in der Lage den unterschiedlichen
:Ladungszustand beider Pole zu erzeugen.
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-
:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen
:Situationen.
:Prinzip T11: Gegenstände werden dadurch positiv oder negativ, daß
:Elektronen verschoben werden.

Ohne den Begriffsnamen Spannung (von Lehrer 1) zu akzeptieren (Tanja widerspricht Lehrer 1, der Spannungsabnahmen als Ursache für das Dunklerwerden der Lampe bezeichnet), entwickelt Tanja ein System, mit dem die Bewegung von negativen Ladungen (Strom) in einem Stromkreis erklärbar wird. Mehrere Prinzipien werden zueinander in Beziehung gesetzt und durch das System "Bewegung und Verteilung von unterschiedlichen Ladungen in einem Stromkreis" geordnet.

12.2 12. Doppelstunde, 2. Handlungsphase

120428 :TS :Wird ein Kondensator von einer Batterie geladen, wandern
:Elektronen von einem Pol der Batterie auf eine Platte des
:Kondensators. Sie fehlen dann auf dem Batteriepol.
:Objekt 1: Kondensator
:Objekt 2: Batterie
:Objekt 3: Elektronen
:Eigenschaft 1: hat zwei Platten
:Eigenschaft 2: hat zwei Pole
:Beziehung 1: Der Kondensator wird von der Batterie geladen.
:Beziehung 2: Der negative Pol der Batterie ist mit einer Platte des
:Kondensators verbunden.

:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:(in Leitern) verschoben werden.
:Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn
:er geschlossen ist.
:Prinzip T11: Gegenstände werden dadurch positiv oder negativ, daß
:Elektronen verschoben werden.
:System T1: Bewegung und Verteilung von unterschiedlichen
:Ladungen in einem Stromkreis

120622 :TS :Wenn Elektronen gerade durch den Draht wandern, stehen sie für
:andere Prozesse nicht zur Verfügung.

120804 :TS :Positive Ladungen heißen Protonen.

120912 :TS :Jeder Kondensator enthält positive Ladungen, auch wenn er nicht
:geladen ist.

120912 :TS :Die bereits vorhandenen überschüssigen Elektronen einer
:Kondensatorplatte werden von den normalerweise vorhandenen
:positiven Ladungen der anderen Platte beeinflußt.

121408 :TS :Elektronen wandern vom negativen Pol der Batterie durch den Draht
:zu eine Kondensatorplatte, weil sie vom negativen Batteriepol
:abgestoßen werden.
:Objekt 1: Kondensator
:Objekt 2: Batterie
:Objekt 3: Elektronen
:Eigenschaft 1: hat zwei Platten
:Eigenschaft 2: hat zwei Pole
:Eigenschaft 3: sind frei beweglich
:Beziehung 1: Der Kondensator wird von der Batterie geladen.
:Beziehung 2: Der negative Pol der Batterie ist mit einer Platte des
:Kondensators verbunden.
:Beziehung 3: Der negative Pol der Batterie stößt Elektronen ab.
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-
:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen
:Situationen.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:(in Leitern) verschoben werden.
:Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn
:er geschlossen ist.
:Prinzip T11: Gegenstände werden dadurch positiv oder negativ, daß
:Elektronen verschoben werden.
:System T1: Bewegung und Verteilung von unterschiedlichen
:Ladungen in einem Stromkreis

121420 :TS :Ist eine Kondensatorplatte negativ geladen, stoßen die überschüssigen
:Elektronen dieser Platte Elektronen der anderen Platte ab, die dann
:zum positiven Pol der Batterie wandern.
:Objekt 1: Platte 1
:Objekt 2: Platte 2
:Objekt 3: Elektronen
:Objekt 4: Batteriepol
:Eigenschaft 1: ist negativ geladen
:Eigenschaft 2: ist neutral (enthält negative Ladungen)

:Eigenschaft 3: sind frei beweglich
:Beziehung 1: Eine Kondensator-Platte wird geladen, weil Elektronen
:vom negativen Batteriepol abgestoßen werden.
:Beziehung 2: Die überschüssigen negativen Ladungen der Platte 1
:stoßen die Elektronen der neutralen Platte 2 ab.
:Beziehung 3: Die Elektronen der Platte 2 werden zum positiven
:Batteriepol abgestoßen.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:(in Leitern) verschoben werden.
:Prinzip T9: Kompensation
:Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn
:er geschlossen ist.
:Prinzip T11: Gegenstände werden dadurch positiv oder negativ, daß
:Elektronen verschoben werden.
:System T1: Bewegung und Verteilung von unterschiedlichen
:Ladungen in einem Stromkreis

121424 :TS :In der Batterie werden die Elektronen chemisch von den positiven
:Ladungen getrennt und auf den negativen Pol der Batterie geschickt.

121513 :TS :Eine Batterie kann Atome in Elektronen und positive Ladungen
:trennen.

121513 :TS :"Die positiven und negativen Teile eines Atoms trennen" und
:"Spannung erzeugen" bezeichnet denselben Vorgang.
:Objekt 1: Atom
:Objekt 2: Elektronen
:Objekt 2: Atomkern (Protonen)
:Eigenschaft 1: ist neutral
:Eigenschaft 2: ist negativ
:Eigenschaft 3: ist positiv
:Beziehung 1: Ein Atom besteht aus Elektronen und Protonen.
:Beziehung 2: Elektronen und Protonen eines Atoms können getrennt
:werden.
:Beziehung 3: Der Zustand, in dem Ladungen auf einem Gegenstand
:getrennt sind, nennt man Spannung.
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-
:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen
:Situationen.
:Prinzip T12: Spannung (der Zustand der Ladungstrennung) ist
:Ursache für die Bewegung der Elektronen in einem Stromkreis.
:System T1: Bewegung und Verteilung von unterschiedlichen
:Ladungen in einem Stromkreis.

121517 :TS :Der chemische Prozeß sorgt dafür, daß die Spannung aufrecht
:erhalten bleibt, daß also jedes von der Batterie abgegebene Elektron
:sofort wieder ersetzt wird.

121721 :Th :Eine Batterie kann sich nicht verbrauchen, weil der Ladungs-
:trennungsprozeß immer wieder neue Elektronen zur Verfügung stellt.

121802 :Th :Da eine Batterie bei der Ladungstrennung arbeitet, benötigt sie
:Energie.

121804 :TS :Energie geht der Batterie verloren, deshalb kann sie sich :verbrauchen.

122115 :TS :Die Spannung der Batterie bewirkt, daß sich die Elektronen des :negativen Pols abstoßen und deshalb auf eine angeschlossene :neutrale Kondensatorplatte verteilen.
:Objekt 1: Batterie
:Objekt 2: Pole
:Objekt 3: Elektronen
:Objekt 4: Kondensator-Platte
:Eigenschaft 1: erzeugt Spannung
:Eigenschaft 2: sind positiv und negativ
:Eigenschaft 3: stoßen sich ab
:Eigenschaft 4: ist neutral
:Beziehung 1: Spannung bewirkt die Abstoßung der Elektronen auf :einem Batterie-Pol
:Beziehung 2: Wenn sich Elektronen untereinander abstoßen, verteilen :sie sich auf einer größeren Fläche, wenn diese angeboten wird.
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen :Situationen.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen :verschoben werden.
:Prinzip T7: Negative Ladungen sind kompressibel.
:Prinzip T8: Komprimierte Ladungen enthalten Energie.
:Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn :er geschlossen ist.
:Prinzip T11: Gegenstände werden dadurch positiv oder negativ, daß :Elektronen verschoben werden.
:Prinzip T12: Spannung (der Zustand der Ladungstrennung) ist :Ursache für die Bewegung der Elektronen in einem Stromkreis.
:System T1: Bewegung und Verteilung von unterschiedlichen :Ladungen in einem Stromkreis.

122130 :Tsn :Der Ladeprozeß hört auf, wenn Batterie und Kondensator die gleiche :Spannung haben.

122230 :TS :Das System Batterie/Kondensator kann mit zwei Bechern verglichen :werden, die miteinander verbunden sind. Ist am Anfang ein Becher :mit Wasser gefüllt, gleichen sich die Wasserstände aus, und das :Wasser fließt nicht mehr.

122413 :TS :Die Elektronen eines Kondensators können nicht verbraucht werden.

122420 :TS :Werden alle Elektronen eines Gegenstandes abgezogen, verschwindet :auch der Gegenstand.

In dieser Handlungsphase ist deutlich die Modifizierung des Systems T1 zu erkennen. In konsequent sequentieller Konstruktion organisiert Tanja, ausgehend vom negativen Pol der Batterie, den Stromfluß in einem Stromkreis mit Kondensator. Die sequentielle Konstruktion wird nie aufgegeben. In (Ta122115) konstruiert Tanja, wie bereits am Anfang dieser Handlungsphase, eine zeitliche Abfolge. Der Prozeß beginnt am negativen

Pol der Batterie, nur daß jetzt die Spannung (mit allen Eigenschaften und Beziehungen) für den Zustand dieses Pols verantwortlich ist. Das System T1 ist am Ende der Handlungsphase also insoweit modifiziert, als alle Einzelprozesse adäquat erklärbar sind. Der Gesamtprozeß wird aber immer noch sequentiell konstruiert, und die Einzelprozesse werden entsprechend zeitlich geordnet. Diese Konstruktion wird von den Orientierungsbemühungen des Lehrers 1 nicht erkennbar beeinflußt. Lehrer 1 achtet in dieser Handlungsphase sehr darauf, den gesamten Prozeß darzustellen (Wasserleitung (L1122225), Kette (L1122326)).

12.3 12. Doppelstunde, 3. Handlungsphase

Lehrer 1 initiiert eine Handlungsphase, in der die Schüler Messungen am Kondensator vornehmen. Diese Phase wird von Tanja durch den subjektiven Erfahrungsbereich "Erfahrung mit elektrischen Stromkreisen" (SEB 2) organisiert. Ich gehe deshalb nicht näher darauf ein.

122827	:TS	:Bevor ein Kondensator entladen werden kann, muß er aufgeladen :werden.
123121	:TS	:Das Meßgerät läßt sich leicht ablesen.
123224	:TS1	:Der Bezeichnung Volt kann keine Bedeutung zugeordnet werden.
123309	:Tsn	:1 Volt bedeutet, daß dann, wenn 1 Coulomb Ladung die Pole :wechselt, eine Energie von einem Joule frei wird.
123414	:TI	:Die vom Lehrer 1 vorgeschlagenen Schaltungen mit Meßgerät :wurden bisher noch nicht gebaut.
123506	:TIn	:In einer Reihenschaltung aus Kondensator, Lampe und Batterie wird :die Batterie geladen.
123509	:TIn	:Die Helligkeit der Lampe nimmt langsam ab, bis die Lampe nicht :mehr leuchtet.
123515	:TS2	:Das Meßgerät kommt aus der UdSSR.
123527	:TI	:Das Meßgerät besitzt einen Pluspol.
123604	:TIn	:Um eine Schaltung zu bauen, ist es nötig, Plus- und Minuspol zu :unterscheiden.
123615	:TS	:Die Skalenteile können nicht in Volt umgerechnet werden.
123711	:TIn	:Ein Kondensator kann in einer Reihenschaltung mit einer Batterie :und zwei Lampen geladen werden.

123716 :TI :Ein Kondensator kann in einer Reihenschaltung über zwei Lampen :entladen werden.

123721 :TI :Das Meßgerät kann parallel zu den Lampen geschaltet werden.

123728 :TI :Wird das Meßgerät in die Schaltung eingebaut, kommt es darauf an, :daß die Polung des Meßgeräts mit der Polung der Batterie :übereinstimmt.

123805 :TI :Mit dem Meßgerät kann am Kondensator gemessen werden, wenn :das Meßgerät in die Schaltung eingebaut wird.

123807 :TS :Mit dem Meßgerät kann am Kondensator gemessen werden, wenn :der geladene Kondensator aus der Schaltung herausgenommen wird.

124007 :TS :Die Lampen leuchten am Ende des Ladeprozesses nicht mehr, weil :die Spannung von Batterie und Kondensator übereinstimmt.

124012 :TIn :Der Kondensator kann entladen werden, wenn die Batterie aus der :Reihenschaltung herausgenommen wird.

124023 :TS :Wird der Kondensator entladen, sinkt der Ausschlag des Meßgeräts :ständig.

124110 :Th :Der Versuch läßt sich auch mit zwei Kondensatoren durchführen.

124117 :Th :Die Kondensatoren können parallel geschaltet werden.

124122 :Tin :Werden die Kondensatoren in Reihe geschaltet, erhält man den :doppelten Strom.

124210 :Tin :Die Kondensatoren können auch ohne Lampen geladen werden.

124228 :TI :Das Meßgerät kann auch in Reihe in die Schaltung eingebaut werden.

124308 :Ti :Damit in der Reihenschaltung aus Batterie, zwei Kondensatoren und :einem Voltmeter Strom fließt, muß die Polung der Batterie mit der :Polung des Meßgeräts übereinstimmen.

124323 :TIn :Um die Schaltung besser überblicken zu können, müssen die Kabel :geordnet werden.

124405 :TIn :In der Reihenschaltung aus zwei Kondensatoren und einem :Voltmeter können die Kondensatoren geladen werden, wenn eine :Batterie parallel zum Meßgerät geschaltet wird.

124407 :hn :Die Anzeige des in Reihe geschaltete Voltmeters läßt Rückschlüsse :auf den Zustand der Kondensatoren zu.

124419 :TS :Da die Anzeige am Voltmeter sich nicht verändert, fließt in der :Schaltung kein Strom.

124426 :Tsn :Die vorliegende Schaltung ist nicht geeignet, etwas über die :Kondensatoren herauszufinden.

124605 :Tin :Ein in Reihe geschaltetes Meßgerät muß als Ampèremeter geschaltet :sein.

124613 :Tsn :Damit mit einem Meßgerät sinnvoll gemessen werden kann, muß der :Meßbereich dem zu messenden Strom angepaßt werden.

124617 :TI :Ein Kondensator kann über einen Kurzschluß entladen werden.

124703 :TIn :Zwei Kondensatoren können in einer Reihenschaltung mit einer :Batterie und einem Ampèremeter geladen werden.

124712 :Tin :Um längere Ladezeiten zu erhalten, muß eine Lampe in die :Reihenschaltung eingebaut werden.

13.1 13. Doppelstunde, 1. Handlungsphase

Der Unterricht beginnt wieder mit einem lehrerzentrierten Unterrichtsgespräch. Tanja beteiligt sich und erhält Gelegenheit ausführlich die eigenen Ideen zu äußern.

130112 :TS :Wird eine Reihenschaltung mit einem ungeladenen Kondensator, :einer Batterie und einer Lampe geschlossen, leuchtet die Lampe und :erlischt nach einiger Zeit.

130212 :TS :Der Ladevorgang des Kondensators kann damit erklärt werden, daß :die Batterie durch den Draht Elektronen über die Lampe auf den :Kondensator abgibt. Die Batterie trennt dabei immer wieder neu :Elektronen von den Atomen, so daß die Elektronen auf dem Batterie-:pol nicht weniger werden. Die Elektronen gelangen auf eine :Platte des Kondensators und stoßen Elektronen auf der anderen Platte :zum zweiten Batteriepol ab. Danach werden Protonen und Elektronen :durch die Arbeit der Batterie wieder getrennt.
:Objekt 1: Kondensator
:Objekt 2: Platte 1
:Objekt 3: Platte 2
:Objekt 4: Elektronen
:Objekt 5: Batteriepol
:Objekt 6: Draht
:Eigenschaft 1: kann geladen werden
:Eigenschaft 2: ist negativ geladen
:Eigenschaft 3: ist neutral (enthält negative Ladungen)
:Eigenschaft 4: sind frei beweglich
:Eigenschaft 6: leitet Elektronen
:Beziehung 1: Eine Kondensator-Platte wird geladen, weil Elektronen :vom negativen Batteriepol abgestoßen werden.
:Beziehung 2: Die überschüssigen negativen Ladungen der Platte 1 :stoßen die Elektronen der neutralen Platte 2 ab.
:Beziehung 3: Die Elektronen der Platte 2 werden zum positiven :Batteriepol abgestoßen.
:Prinzip T2: Die Existenz (Beziehungen zwischen) zu unterscheiden-:der Ladung ist Ursache für Ereignisse in unterschiedlichen :Situationen.

:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:(in Leitern) verschoben werden.
:Prinzip T9: Kompensation
:Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn
:er geschlossen ist.
:Prinzip T11: Gegenstände werden dadurch positiv oder negativ, daß
:Elektronen verschoben werden.
:Prinzip T3: Umwandelbarkeit ist eine universell einsetzbare
:Beziehung zwischen Energieformen und entsprechender Arbeit.
:System T1: Bewegung und Verteilung von unterschiedlichen
:Ladungen in einem Stromkreis

130312 :Tsn :Alle Vorgänge im Stromkreis geschehen gleichzeitig.

Tanja knüpft an die 12. Doppelstunde an. Wieder konstruiert sie sequentiell. Erst die Orientierung durch Lehrer 1 in (L1130306) läßt Tanja darauf aufmerksam werden, daß die Prozesse im Stromkreis im Zusammenhang gesehen werden müssen.

"(L1130306) L1:Ta: hmm. So. Will jemand ne Ergänzung dazu sagen' ... mir gefällt eine Kleinigkeit noch nich. Eine Kleinigkeit is das. Äh könnt ihr mal versuchen den oberen Strang und den unteren Strang gleichzeitig und gleichwertig zu betrachten. Du hast mit dem oberen Strang gesagt' wenn hier ein Elektron ankommt dann wird hier eins abgestoßen. Kannst du mal versuchen das jetzt oder irgendjemand die beiden jetzt parallel zu sehn.
Ta:L1: Ach so (zeigt auf)."

Es wird nicht deutlich, ob Tanja die neue Beschreibung der Situation zur Organisierung des Systems benutzt.

130407 :TS :Geht die Lampe nach dem Ladevorgang aus, ist die Spannung auf
:dem Kondensator so groß wie die Spannung auf der Batterie.

130421 :Ts :Die Lampe ist ein Anzeigeinstrument für fließenden Strom.

130508 :Tsn :Ohne Lampen läßt sich ein Kondensator schneller aufladen als mit
:Lampen.

130530 :TS :Das Modell des Lehrers 1 ist interessant.

130703 :Tsn :Der Ladungstransport läßt sich am Modell des Lehrers 1 gut erklären.

130712 :Ts :In einem Stromkreis werden keine Elektronen verbraucht.

130727 :TS :Wenn sich die Elektronen in einer Reihenschaltung mit Kondensator,
:Lampe und Batterie nicht in eine Richtung bewegen, ist der
:Kondensator vollständig geladen.

130902 :TS :Hat ein Kondensator die gleiche Spannung wie die Batterie, müßte
:die Batterie weitere Ladungen gegen diese Spannung auf den
:Kondensator bringen. Da ihre Spannung aber nicht größer ist, kann
:sie nicht die notwendige Arbeit verrichten.

131007 :Tsn	:Eine Reihenschaltung mit einem Kondensator ist nicht geschlossen, :obwohl es den Anschein hat.
131030 :Tsn	:Haben Batterie und Kondensator die gleiche Spannung, ist auf den :Batteriepolen und auf den Kondensatorplatten die gleiche :Ladungsdichte.
131320 :TS	:Die Ladungen auf den Platten eines Kondensators sind durch eine :Lücke zwischen den Platten getrennt. Die Ladungen stoßen sich über :diese Lücke hinweg ab.
131427 :TS	:Ein Ampèremeter kann in einen einfachen Stromkreis überall :eingebaut werden.

Im weiteren Verlauf des Gesprächs wird von Tanja das System T1 angewandt, es werden von Tanja bis auf (Ta131030) aber keine neuen Prinzipien oder Beziehungen entwickelt. Die Beziehung zwischen gleicher Spannung und gleicher Ladungsdichte wird von Lehrer 1 im Gespräch erwähnt. Tanja stimmt lediglich zu.

13.2 13. Doppelstunde, 2. Handlungsphase

Lehrer 1 initiiert Versuche, in denen Spannung und Stromstärke beim Entladen eines Kondensators über einen Widerstand gemessen werden sollen.

131715 :TS	:Werden ein Voltmeter, eine Batterie und eine Lampe in Reihe :geschaltet, leuchtet die Lampe nicht, weil der durch das Voltmeter :fließende Strom sehr gering ist.
131804 :TIn	:Ein Stromkreis muß geschlossen sein, damit ein Strom fließen kann.
132024 :TI	:Für die geplante Schaltung sind viele Kabel nötig.
132105 :hn	:Die Meßgeräte sollen gleichzeitig Ampèremeter und Voltmeter sein.
132122 :Th	:Ein Meßgerät kann nicht gleichzeitig Ampèremeter und Voltmeter :sein.
132202 :Th	:Der Anschluß des Meßgeräts für den negativen Pol ist schwarz.
132223 :TI	:Die Stromstärke kann gemessen werden, wenn das Meßgerät in Reihe :in den Stromkreis eingebaut ist.
132227 :TI	:Mit der Einstellung als Voltmeter ist das Meßgerät nicht geeignet, die :Stromstärke zu messen.
132318 :TS	:Die Stromstärke wird auf der unteren Skala abgelesen.

132402 :TI :Ein Kondensator kann in einer Reihenschaltung mit Batterie, :Ampèremeter und Widerstand geladen werden.

132407 :Ti :Ein geladener Kondensator kann in der Reihenschaltung entladen :werden, indem man ihn mit einem Kabel kurzschließt.

132513 :Ts :Ein Wackelkontakt führt zum Schwanken des Zeigers am :Ampèremeter.

132524 :Tsn :Mit geeigneten Kabeln läßt sich der Versuch besser durchführen.

132529 :TIn :Ein Kondensator kann besser entladen werden, wenn er aus der :Schaltung ausgebaut ist.

132606 :TIn :Man kann eine elektrische Schaltung visuell auf ihre Funktions- :fähigkeit überprüfen.

132612 :Ti :Das Ampèremeter muß richtig gepolt sein, damit es die Stromstärke :anzeigen kann.

132622 :TI :Eine Krokodilklemme kann als Schalter benutzt werden.

132805 :TI :Um den Kondensator zu entladen, muß nur die Batterie aus dem :Stromkreis entfernt werden.

132818 :TI :Die Polung des Kondensators und des Meßgeräts richtet sich nach :den Polen der vorher angeschlossenen Batterie.

132920 :TI :Die Messung muß beendet werden, weil der Platz auf der Tabelle :nicht mehr ausreicht.

132923 :TI :Das zur Spannungsmessung benötigte Voltmeter kann durch eine :Veränderung der Meßgeräteeinstellung hergestellt werden.

132928 :Th :Der Drehschalter am Meßgerät kann nicht in beide Richtungen :gedreht werden, ohne das Gerät zu beschädigen.

132930 :TI :Um mit dem Voltmeter adäquat messen zu können, muß der passende :Meßbereich eingestellt werden.

133029 :TIn :Laut Anleitung soll die Spannung an der Batterie gemessen werden.

133030 :TS1 :Wenn der Zeiger weiter ausschlägt als der Meßbereich zuläßt, ist das :beunruhigend.

133103 :Tin :Damit das Voltmeter adäquat anzeigen kann, muß ein größerer :Meßbereich eingestellt werden.

133118 :TS :Die Spannung der Batterie verändert sich nicht, wenn sie einen :Kondensator lädt.

133123 :Ts :Laut Arbeitsbogen des Lehrers soll nicht die Spannung der Batterie :gemessen werden.

133208 :TI :Bevor die Spannung am Kondensator gemessen werden kann, muß er :entladen werden.

133226 :Th :Bei der Spannungsmessung muß auf der roten Skala abgelesen :werden.

133305 :Tin :Auf der roten Skala wird Wechselspannung und auf der schwarzen :Gleichspannung abgelesen.

133407 :Ts :Die Messung wird beendet, weil der Zeiger nicht mehr ansteigt.

133419 :Th :Das Meßgerät zeigt am Ende des Ladevorgangs eine geringere :Spannung an als die, die nach der Spannungsmessung an der Batterie :erwartet wird.

133425 :Th :Wenn am Voltmeter ein niedrigerer Meßbereich eingeschaltet wird, :wird das Meßgerät zerstört.

133510 :TIn :Um den Spannungsverlauf des Kondensators beim Entladen zu :messen, muß die Batterie aus dem Stromkreis (Reihenschaltung aus :Kondensator und Widerstand mit parallel geschaltetem Voltmeter) :entfernt werden.

133619 :TI :Beim Entladen muß die Spannung auf 0 Volt heruntergehen.

133627 :TS :Für die nächste Aufgabe (Spannung und Stromstärke soll in einem :Stromkreis mit Kondensator gemessen werden) wird ein zweites :Meßgerät benötigt.

133701 :TS :Die Aufgabe kann nur mit vier Personen befriedigend gelöst werden.

133705 :TS :Die Umrechnung von Skalenteilen in Einheiten ist nicht möglich.

133718 :Th :Wird eine Batterie kurzgeschlossen, kann sie zerstört werden.

133807 :TS :Mit drei Personen kann die Messung nur unter Schwierigkeiten :durchgeführt werden.

133815 :Ts :Die Messung kann organisiert werden, indem von einem die Zeit :angesagt wird und von den anderen beiden das Ampèremeter und das :Voltmeter abgelesen und der Wert notiert wird.

133821 :TI :Die Skalenteile können besser in Brüchen als in Dezimalbrüchen :abgelesen werden.

134102 :TS :Der vom Lehrer 1 vorgeschlagene Rechenfaktor ist unverständlich.

134117 :TI :Die Schaltung, in der Stromstärke und Spannung des Kondensators :gleichzeitig gemessen werden sollen, ist eine Reihenschaltung aus :geladenem Kondensator, Widerstand und Ampèremeter. Zum Kon-:densator ist ein Voltmeter parallel geschaltet.

134122 :TI :Um adäquat messen zu können, müssen die Meßgeräte entsprechend :eingestellt werden.

134216	:TI	:Um adäquat messen zu können, müssen Kondensator und Meßgeräte :richtig gepolt sein.
134306	:TI	:Die Polung von Kondensator und Meßgeräten richtet sich nach der :Polung der zur Ladung des Kondensators benutzten Batterie.
134320	:TI	:Die Batterie muß beim Laden des Kondensators entsprechend der :Schaltung der Meßgeräte gehalten werden.
134422	:TS	:Der Stromkreis muß an zwei Stellen gleichzeitig geschlossen werden, :damit die Messung adäquat beginnen kann.
134524	:JTI	:Mit dem Voltmeter kann überprüft werden, ob der Kondensator :vollständig geladen ist.
134605	:JTsn	:Das Voltmeter zeigt an, daß der Kondensator vollständig geladen ist.
134818	:JTS	:Bevor die Meßwerte zu einer Zeichnung verarbeitet werden können, :müssen erst sämtliche Skalenteile in Einheiten umgerechnet sein.

Organisiert durch SEB 2 "Erfahrungen mit elektrischen Stromkreisen" werden auf der Prinzipebene (u.a. Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn er geschlossen ist) Handlungsziele und Erwartungen konstruiert. In keiner Phase ist eine Verbindung zu SEB 1 "Erfahrungen mit Elektrostatik" zu erkennen. "Spannung" ist nicht mehr eine Beziehung zwischen unterschiedlichen Ladungsarten, sondern wird als Eigenschaft des Meßgeräts konstruiert. Sie ist das, was vom Voltmeter, nach Anweisung des Lehrers, gemessen werden kann. Neue Wahrnehmung wird höchstens auf der Beziehungsebene in SEB 2 organisiert.

Ob tatsächlich, wie in der Feinstruktur unterstellt, eine Menge von Prinzipien kontrolliert wird, ist nur zu vermuten. Da, wie bereits beschrieben, ein neuer subjektiver Erfahrungsbereich die Handlungen in der 13. Doppelstunde organisiert, ist eine weitere Anwendung der für das System T1 postulierten Prinzipien (T2, T6, T7, T8, T9, T10, T11 und T12) nicht mehr beobachtbar.

14. Übersicht über die Entwicklung des Objekts "Ladung" bei einer Schülerin

Aus der Feinanalyse kann nun die Struktur verschiedener Entwicklungen abgelesen werden. Dazu wird zunächst eine Liste erstellt, die Objekte, Eigenschaften, Ereignisse, Beziehungen, Prinzipien und Systeme nur noch einmal enthält. Mehrfachbelegungen der Objekte werden gestrichen. Anschließend werden das interessierende Objekt und alle zugehörigen Eigenschaften, Ereignisse, Beziehungen usw. extrahiert und in einem Diagramm übersichtlich dargestellt.

Als Beispiel sei die Entwicklung des Objekts "Glimmlampe" aufgeführt.

Zunächst die auf das Objekt reduzierte Feinanalyse:

10213 :1Tin :Objekt 1: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: zeigt Ladung/Elektrizität an
:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 3: zeigt Ladung an
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.

10504 :1TS :Objekt: Glimmlampe
:Eigenschaft: ist geteilt
:Ereignis: Beim Entladen einer PVC-Folie leuchtet nur eine Seite der
:Glimmlampe.
:Beziehung: Das Leuchten der Glimmlampe ist Indiz für die
:erfolgreiche Behandlung der PVC-Folie.
:Programm: Ladungsnachweis 1

12314 :1Th :Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 3: hat zwei Glimmfäden
:Ereignis: Die Glimmfäden der Glimmlampe leuchten/leuchten nicht.
:(Sequenz) Die Handlung und die durch sie in Beziehung zueinander
:gebrachten Objekte werden durch die Erwartung des Ereignisses
:zeitlich und räumlich geordnet.
:Beziehung: Es gibt prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.
:Programm: Ladungsnachweis 1 wird modifiziert.Ladungsnachweis 2:
:Die Glimmlampe besitzt zwei Glimmfäden.
:Programm: Ladungserzeugung 2
:Prinzip T2 : Die Beziehung (Existenz von zu unterscheidender
:Ladung) ist Ursache für Ereignisse in verschiedenen Situationen.
:Ereignis: Die Fäden der Glimmlampe leuchten abwechselnd an der
:negativen Seite.
:Beziehung: Die Anziehungskraft zwischen den Ladungen bewirkt
:eine Verschiebung der Elektronen auf einem Gegenstand. Durch die
:Beziehung werden die beteiligten Objekte zu einer Sequenz geordnet.
:Programm: Die Programme "Ladungserzeugung 1" (Laden der PVC-
:Folie) und "Ladungsnachweis 3" werden angewandt.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen
:verschoben werden. Die Beziehung (wie (Ta415a04)) organisiert eine
:neue Klasse von Situationen. Sie enthält alle Handlungen, die das
:Verschieben von negativen Ladungen auf Leiteroberflächen zum Ziel
:haben.

80224 :TI :Objekt 1: Glimmlampe
:Eigenschaft 1: ist Nachweisgerät für mehr oder weniger Ladungen
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet hell/weniger hell.
:Beziehung: Bei einer größeren Ladungsdichte enthält die Oberfläche
:einer Platte eine größere Ladungsmenge.
:Programm: "Ladungsnachweis 4" Die Glimmlampe leuchtet bei mehr
:oder weniger Ladung mehr oder weniger hell.

81822 :Ti :Objekt 2: Glimmlampe
:Eigenschaft 2: leitet
:Beziehung: Eine Glimmlampe stellt eine leitende Verbindung
:zwischen PVC-Folie und Masse her.

:Objekt 3: Glimmlampe
:Eigenschaft 3: kann mehr oder weniger Ladung anzeigen
:Ereignis: Die Glimmlampe leuchtet hell/weniger hell.
:Objekt 2: Lampe
:Eigenschaft 2: leuchtet/leuchtet nicht
:Ereignis: Das Leuchten der Lampe wird immer schwächer.

111310:TI :Prinzip T 10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, :wenn er geschlossen ist.

120230:TS :Beziehung: Batterie, Lampe und Kondensator befinden sich in :einem Stromkreis.
:Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen :verschoben werden.
:Prinzip T 10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, :wenn er geschlossen ist.

Werden alle Wahrnehmungsebenen getrennt und chronologisch dargestellt, ergeben sich folgende Tabellen (die Numerierung stellt die Bezüge der Ebenen zueinander her):

Die Eigenschaften:	**Die Ereignisse:**
1 zeigt Ladung/Entladung an	1.Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht
2 ist gebaut	2.Beim Entladen einer PVC-Folie leuchtet nur eine Seite der Glimmlampe.
3 hat zwei Glimmfäden	3.Die Glimmfäden der Glimmlampe leuchten/leuchten nicht. Die Fäden der Glimmlampe leuchten abwechselnd an der negativen Seite.
4 ist Nachweisgerät für mehr oder weniger Ladungen	4.Die Glimmlampe leuchtet hell/weniger hell. Das Leuchten der Lampe wird immer schwächer.
5 leuchtet	

Die Beziehungen:

1.Das Leuchten der Glimmlampe ist Indiz für die erfolgreiche Behandlung der PVC-Folie.
2./3.Es gibt prinzipiell zu unterscheidende Ladungsarten.
4.Bei einer größeren Ladungsdichte enthält die Oberfläche einer Platte eine größere Ladungsmenge.
5.Eine Glimmlampe stellt eine leitende Verbindung zwischen PVC-Folie und Masse her.
5.Batterie, Lampe und Kondensator befinden sich in einem Stromkreis.

Die Programme:

1./5.Ladungsnachweis 1: Die Glimmlampe wird als Nachweisgerät für den elektrischen Effekt benutzt.
2./3./5.Ladungsnachweis 2: Mit der Glimmlampe können unterschiedliche Ladungen nachgewiesen werden.
4./5.Ladungsnachweis 4: Die Glimmlampe leuchtet bei mehr oder weniger Ladung mehr oder weniger hell.

Die Tabellen enthalten die Beobachterkonstruktionen, die aus der Interaktion Tanjas in allen 13 Doppelstunden in der Situationsklasse "Einsatz der Glimmlampe" herzustellen waren.

Da das Ziel der Analyse die Darstellung der Entwicklung des Objekts "Ladung" war, wurden keine Prinzipien formuliert, die von der Glimmlampe als Prinzip stiftendem Objekt ausgehen. Eine Aussage darüber, ob Handlungen Tanja's bezüglich der Glimmlampe auf dieser Ebene der Wahrnehmung und Rückkopplung organisiert wurden, ist deshalb nicht möglich. Dagegen hat die Glimmlampe in Handlungen Beziehungen zwischen anderen Objekten hergestellt. Diese Beziehungen sind auch in diesem zusammenfassenden Schritt der Analyse dem Objekt Glimmlampe zuzuordnen. Wieder wird deutlich, daß die Glimmlampe bei der Wahrnehmung des Objekts "Ladung" eine entscheidende Rolle gespielt hat. Sie war Schlüsselelement der Rückkopplungsschleife, die die Wahrnehmung der Ladungsarten "Plus" und "Minus" sichergestellt hat. Oder: Die Wahrnehmung der zwei Fäden der Glimmlampe initiierte die Aktivierung der Konstruktion "es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Arten von Ladung". Dadurch wurden Handlungsziele generiert, die deren Erzeugung zum Ziel hatten. Die Existenz zweier Ladungsarten nach ihrer Erzeugung wurde wiederum mit dem entsprechend modifizierten Programm, also unter Beteiligung des Objekts Glimmlampe überprüft. Ob das

Programm Ladungsnachweis 3 (Die Ereignisse "Anziehung und Abstoßung" werden als Indikator für das Vorhandensein von unterschiedlicher Ladung eingesetzt) bei der hier skizzierten Entwicklung des Objekts "Ladung" eine Rolle gespielt hat, ist nicht zu erkennen.

Die tabellarische Darstellung der Entwicklung eines Objekts hat noch eine weitere Funktion:

Zur Erstellung der Tabellen ist keine Interpretation notwendig. Die Tabellen entstehen dadurch, daß alle nicht zum Objekt gehörenden Elemente und alle Wiederholungen gestrichen werden. Die Ordnung erfolgt vertikal durch die Chronologie (es ist also keine neue Ordnung herzustellen, die alte bleibt erhalten) und horizontal durch nachträglich zwischen den Ebenen erkennbare logische Bezüge. Die Konsistenz dieser Darstellung ist ein Indiz für die Brauchbarkeit der Analyse. Der Bezug zu allen anderen Ebenen der Auswertung kann wiederum jederzeit hergestellt werden. Da die Objekte, Ereignisse, Beziehungen, Programme, Prinzipien und Systeme eindeutig gekennzeichnet sind (die Formulierung wurde durch die gesamte Analyse konstant gehalten), können mit der Suchroutine des MS-WORD 4.0 Textverarbeitungs-Programms in der Feinanalyse nacheinander die Ideen aufgesucht werden, in denen die entsprechenden Wahrnehmungsebenen die Handlung organisieren. Die Bezifferung wurde bei dieser Zusammenfassenden Darstellung aufgegeben. Es hätten sonst neben jedem Objekt, jeder Eigenschaft usw. mehrere Ziffern stehen müssen, die nicht zur Klarheit der Darstellung beigetragen hätten. Die Gleichheit der Formulierungen bei der Benennung einzelner Elemente der Wahrnehmungsebenen ist überhaupt notwendige Voraussetzung für die Analyse von der Stufe der Feinstruktur an. Ich gehe davon aus, daß die konstruierten Strukturen, unbeschadet ihrer unendlich großen Variabilität im Gehirn, für ein und die selbe Invariante bei demselben Individuum in unterschiedlichen Situationen wenigstens ähnlich sind. Neurobiologische Messungen bestätigen dies für komplexe Wahrnehmung.

> "So far we have dealt with self-organization processes that essentially serve to generate ordered topographic maps in which clusters of adjacent neurons assume similar response properties.(...) It has been known for a long time that one of the prominent features of cortical organization is the presence of an extremely dense network of far-reaching connections which are tangential to the cortical lamination. (...) Developmantal studies in the cat have shown that these tangential connections essentially appear postnatally (...), go through a phase of exuberant proliferation during which they are extremely numerous and far-reaching, and subsequently become pruned under the influence of visual experience. If visual experience is unrestricted, subpopulations of these pathways are stabilized;"
> (v.d. Malsburg/Singer, 1988, 90 ff)

> "Within an area there are similarities in (a) response characteristics and avtivity patterns of the neuronal population; (b) input and output connections; (c) neuronal architecture; and (d) neuronal histo- and cytochemical properties. Next, each area is also thought to have a unique physiological function and role in behaviour."
> (Stryker, 1988, 116)

Komplexe Invarianten können deshalb standardisiert dargestellt werden, wenn davon ausgegangen wird, daß die Invariantenbildung bei einem Schüler über dessen Interaktion und deren Wahrnehmung durch den Beobachter orientierenden Einfluß auf die Konstruktionen des Beobachters ausübt.

Wie im Beispiel mit dem Objekt "Glimmlampe" wird nun mit dem Objekt "Ladung" verfahren. Die auf Ladung reduzierte Feinanalyse wird nicht dargestellt.

Die Objekte:

1. Elektrizität/Ladung
2. Elektronen
3. positive Ladung

Einzelne Beziehungen sind nur dann zu erklären, wenn die an ihnen beteiligten Objekte in die Darstellung aufgenommen werden:

4. Batterie	Batteriepol		
5. Aluminium-Platte	Kondensator	Kondensator-Platten	Platte 1 Platte 2
6. Atom	Elektronen Atomkern (Protonen)		
7. Draht	Stromkreis		

Die Eigenschaften:

1. Elektrizität kann angezeigt werden (besitzt keine Gestalt). Ladung kann unterschiedlich sein. Ladung kann positiv sein. Ladung (als Menge) hat einen bestimmten Betrag. Ladung (als Menge) ist frei verschiebbar. Ladung wird von anderer Ladung angezogen/abgestoßen. "Etwas" (Ladung) kann durch die Luft den Gegenstand wechseln. Die Ladungsmenge bleibt konstant, wenn der Gegenstand nicht berührt wird.
2. Elektronen sind übertragbar. Negative Teilchen sind beweglich. Negatives Elektron hat eine bestimmte Ladung. Bewegliche Elektronen werden angezogen.
3. Positives Proton hat eine bestimmte Ladung. Positive Ladung ist ortsfest. Protonen besitzen Anziehungskraft.

4. Die Batterie hat eine bestimmte Spannung. Batteriepole sind negativ oder positiv geladen.
5. Kondensator kann geladen werden. Platte 1 ist negativ geladen. Platte 2 ist neutral (enthält negative Ladungen).
6. Ein Atom besteht aus Elektronen und Atomkern (Protonen). Ein Atom ist neutral. Elektronen sind negativ. Protonen sind positiv.
7. Der Draht leitet Elektronen. Der Stromkreis muß geschlossen sein.

Die Ereignisse:

1.
Die Glimmlampe leuchtet/leuchtet nicht.
Die Glimmlampe leuchtet, wenn sie am Glas gehalten wird.
Werden unterschiedliche Gegenstände aneinander gerieben, können Elektronen von einem Körper auf den anderen übergehen.
Die PVC-Folie zieht den Tischtennisball an.
Der Elektroskop-Zeiger bewegt sich.
Der Elektroskop-Zeiger zeigt an und bewegt sich nicht in die Ausgangsstellung zurück.
Der Elektroskop-Zeiger schlägt aus und bewegt sich in kleinen Schritten gegen die Nullstellung.
Die Glimmlampe leuchtet hell oder weniger hell.
Das Leuchten der Lampe wird immer schwächer.
Nach einiger Zeit leuchtet die Lampe nicht mehr.

2./3.
Beim Entladen einer PVC-Folie leuchtet nur eine Seite der Glimmlampe.
Am berührenden Finger ist zu spüren, ob die freien negativen Ladungen zu Masse abfließen/nicht abfließen.
Die geladenen PVC-Folien ziehen sich an.
Die geladene Polyester-Tüte zieht ein Blatt Papier an.
Die PVC-Folien stoßen sich ab.
Die Glimmfäden der Glimmlampe leuchten/leuchten nicht.
Die Fäden der Glimmlampe leuchten abwechselnd an der negativen Seite.
Das Rollo schnappt hoch.

Die Beziehungen:

1. Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind. Ladungen haben eine bestimmte Größe. Auf der Oberfläche eines Gegenstands bleibt die Ladungsmenge konstant, wenn der Gegenstand nicht berührt (geerdet) wird. Auf gleiche Flächen können unterschiedliche Ladungsmengen aufgebracht werden. Bei einer größeren Ladungsdichte enthält die Oberfläche einer Platte eine größere Ladungsmenge. Eine größere Aluminium-Platte kann eine größere Ladungsmenge fassen. Die (fern wirkende) Anziehungskraft zwischen den Ladungen bewirkt eine Verschiebung der Elektronen auf einem Gegenstand. (Die Elektronen verlassen den Gegenstand nicht). Die Anziehungskraft zwischen den Ladungen bewirkt eine Verschiebung der Elektronen auf einem Gegenstand. Der Zustand, in dem Ladungen auf einem Gegenstand getrennt sind, nennt man Spannung.
2. Es gibt zwei prinzipiell unterscheidbare Ladungen. Werden Elektronen auf der Oberfläche eines Körpers verschoben, bleibt ein positiver geladener Bereich zurück. Neutrale Gegenstände (hier Masse) üben keine Kraft auf Elektronen aus. Wenn sich Elektronen untereinander abstoßen, verteilen sie sich auf einer größeren Fläche, wenn diese angeboten wird.
3. Es gibt positive und andere Ladung.
2./4./5. Die Spannung der Batterie ist dafür verantwortlich, daß der Kondensator geladen wird. Spannung bewirkt die Abstoßung der Elektronen auf einem Batterie-Pol. Eine Kondensator-Platte wird geladen, weil Elektronen vom negativen Batteriepol abgestoßen werden. Die überschüssigen negativen Ladungen der Platte 1 stoßen die Elektronen der neutralen Platte 2 ab. Die Elektronen der Platte 2 werden zum positiven Batteriepol abgestoßen.
6. Ein Atom besteht aus Elektronen und Protonen. Elektronen und Protonen eines Atoms können getrennt werden.

Die Programme:

Ladungserzeugung 1: Alle Gegenstände aus Plastik können durch Reiben mit einem Lederlappen geladen werden.

Ladungserzeugung 2: Durch Reiben mit unterschiedlichen Gegenständen können unterschiedliche Ladungen auf den PVC-Folien erzeugt werden.

Ladungserzeugung 3: Gegenstände können durch Influenz und Berühren dauerhaft geladen werden.

Ladungserzeugung 4: zwei nebeneinanderliegende Aluminium-Platten werden durch "Influenz und Trennen" entgegengesetzt geladen.

Ladungsnachweis 1: Wird ein Gegenstand mit einer in der Hand gehaltenen Glimmlampe angetippt, kann festgestellt werden, ob der Gegenstand geladen war.

Ladungsnachweis 2: Mit der Glimmlampe können zwei unterschiedliche Ladungsarten nachgewiesen werden.

Ladungsnachweis 3: Anziehung und Abstoßung zweier Gegenstände ist Indikator dafür, daß die Gegenstände geladen sind.

Ladungsnachweis 4: Die Glimmlampe leuchtet bei mehr oder weniger Ladung mehr oder weniger hell.

Die Prinzipien:

1. Prinzip T1: PVC-Folien können so behandelt werden, daß sie unterschiedliche Wirkung hervorrufen können. Prinzip T2: Die Beziehung (Existenz von zu unterscheidender Ladung) ist Ursache für Ereignisse in verschiedenen Situationen. Prinzip T5: Auf der Oberfläche eines Gegenstands bleibt die Ladungsmenge konstant, wenn der Gegenstand nicht berührt (geerdet) wird.
2. Prinzip T6: Negative Ladungen können auf Leiteroberflächen (in Leitern) verschoben werden. Prinzip T7: Negative Ladungen sind kompressibel. Prinzip T8: Komprimierte Ladungen enthalten Energie. Prinzip T11: Gegenstände werden dadurch positiv oder negativ, daß Elektronen verschoben werden. Prinzip T12: Spannung (der Zustand der Ladungstrennung) ist Ursache für die Bewegung der Elektronen in einem Stromkreis.
1./2. Prinzip T4: Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind.
2./3. Prinzip T9: Getrennte entgegengesetzte Ladungen mit geringem Abstand neutralisieren sich (Kompensation).
4./5./7. Prinzip T10: Ein elektrischer Stromkreis ist adäquat aufgebaut, wenn er geschlossen ist.

Der Charakter der Veränderung des Objekts darf an dieser Stelle der Analyse nicht mehr dargestellt werden, weil die Rückkopplungsschleifen und die darauf erfolgende rekursive Veränderung des Objekts "Ladung" in dieser Darstellung nicht mehr sichtbar zu machen sind. Deshalb kann anhand dieser Darstellung nicht mehr entschieden werden, auf welcher Ebene der Wahrnehmung die Handlung organisiert wird. Dies muß vorher erfolgt sein. Andere Aspekte werden dagegen erst deutlich:

So ist aus der Tabelle der Eigenschaftszuordnungen abzulesen, daß bei Tanja zunächst die Eigenschaft der Ladung, positiv zu sein, konstruiert wurde. Tatsächlich wurden Handlungen mit dem Elektroskop zunächst mit dieser Eigenschaft organisiert (dies führte zu einer nicht adäquaten Eigenschaftszuordnung beim Elektroskop: (Ta23313) das Elektroskop kann nur positive Ladung anzeigen"). Nachdem es Tanja gelungen ist, den dominierenden Charakter der negativen Ladung bei der Herstellung geladener Ge-

genstände wahrzunehmen, spielt die positive Ladung keine Handlung organisierende Rolle mehr. Dies ist an der Tabelle der Beziehungen und Prinzipien abzulesen. Die Eigenschaft, positiv zu sein, trägt kaum zur Bildung von Beziehungen bei, und auf der Prinzipebene ist nur das Prinzip zu erkennen, das die Handlungen mit dem Elektroskop organisiert hat (Prinzip T4: Ladungen können nur dann etwas Wahrnehmbares bewirken, wenn sie beweglich sind).

Nach dieser frühen Phase des Unterrichts ist die Wahrnehmung negativer, beweglicher Ladungsteilchen bestimmend für Beziehungen und Prinzipien.

V Zusammenfassung

1 Zur Theorie

Denk- und Lernprozesse können nur dargestellt werden, wenn der theoretische Rahmen gegeben ist, der die Randbedingungen einer Analyse beschreibt. Ich gehe von der Annahme aus, daß Prozesse, die so komplex verlaufen wie menschliche Denkprozesse, nicht verstanden werden können, wenn nur ein Aspekt, etwa die einer Interaktion unterstellte Struktur, zur Grundlage der Analyse gemacht wird. Die Grenze einer solchen Analyse ist bereits erreicht, wenn nach der Genese der unterstellten Struktur gefragt wird. Der unter Didaktikern u.a. kommunizierte Konsens über das Ziel der Lehrtätigkeit in den Schulen ist nun aber, die Bildung kognitiver Strukturen bei Schülern zu initiieren. Gerade deshalb sollte die Erforschung der Genese solcher Strukturen Inhalt didaktischer Untersuchungen sein (s.S.3 ff).

1.1 Der radikale Konstruktivismus

Der radikale Konstruktivismus ist ein Paradigma, das geeignet scheint, die Bildung einer Theorie im oben genannten Sinn zu begründen. Dabei sind folgende Aussagen besonders hervorzuheben:

- Es gibt keine didaktische Theorie, die den Menschen ganzheitlich begreift und die Ursache von Verhalten, die neuronale Organisation des menschlichen Gehirns, in die Analyse von Interaktion einbezieht.

  Hieraus entsteht die Notwendigkeit, außerdidaktische Ansätze bei der Theoriebildung zu beachten.

- Es gibt einen biologisch konstruktivistischen Ansatz, der den Abstand zwischen neuronalen Funktionen und Kognition als beliebig klein ansieht (s.S.7 ff).

  Dadurch wird es möglich, Strukturen zu konstruieren, die nicht aus Verhaltensanalysen geschlossen werden, und diese durch Verhaltensanalysen zu überprüfen.

Die Festlegung auf den radikalen Konstruktivismus ergibt die folgenden Organisationsprinzipien, die für die weitere Konstruktion der kognitiven Strukturen aus der Beobachtung von Interaktionen grundlegend sind:

1. Das Gehirn ist ein selbstreferentielles System (s.S.11 ff).

   Die "Wirklichkeit" eines jeden Menschen ist deshalb die Konstruktion seines eigenen Gehirns. Diese Konstruktion geschieht auf der Basis bereits potentiell vorhandener Konstruktionen und ist mit der "Realität" nur dadurch verbunden, daß Rückkopplungsschleifen die Zweckmäßigkeit der Konstruktion im Sinne des kognitiven Systems überprüfen. Das Bezugssystem des individuellen Denkens wird nach internen ordnungsbildenden Prinzipien hergestellt. Selbstreferentielle Systeme sind semantisch abgeschlossen (s.S.16).

2. Es gibt keinen Informationsfluß von "außen" nach "innen". Wahrnehmung ist die Selbstbeschreibung des Gehirns (s.S.17).

   Dieses Prinzip ist aus der Selbstreferentialität abgeleitet, wird aber besonders hervorgehoben, da es für die Didaktik eine besondere Rolle spielt:

   Bedeutung wird im einzelnen System (vom einzelnen Menschen) selbst zugewiesen. Maßgeblich für die Bedeutungszuweisung ist nur der einzelne Mensch selbst. Die "Trichtermethode" ist deshalb keine sinnvolle didaktische Methode. Entscheidender Gesichtspunkt didaktischer Bemühungen ist, daß sich kognitive Systeme (ein Mensch den anderen, der Lehrer den Schüler) nur gegenseitig orientieren können. Zu untersuchen ist also kein Informationsübertragungsprozeß, sondern der Prozeß der Bedeutungszuweisung in bestimmten Situationen.

3. Realität ist lediglich Randbedingung der kognitiven Welt.

   Es gibt keine Abbildung (auch keine selektive) der Realität in menschlichen Kognitionen. Randbedingungen existieren in zweierlei Hinsicht:

   a) Der Mensch selbst ist Randbedingung seiner Existenz dadurch, daß er mit einer realen Gestalt, mit realen Sinnesorganen usw. existiert, also nur hiervon abhängig wahrnehmen kann.

   b) Die Realität der jeweiligen Situation ist Randbedingung insofern, als bestimmte kognitive Prozesse von ihr initiiert werden und andere nicht (s.S. 20 ff).

4. Kognitive Prozesse werden situationsbedingt aktiviert (s.S.24 ff).

   Kognitive Zustände und Prozesse dienen dem Zweck, das organische, psychische und soziale Überleben des Organismus zu sichern. In ähnlichen Situationen sollen

also ähnliche Interaktionen für den Organismus befriedigend verlaufen. Diese Existenzbedingung ist an Situationen gebunden, da nur in Situationen Rückkopplung über die Zweckmäßigkeit der kognitiven Konstruktion möglich ist. Situationsadäquates Handeln erfordert die Veränderbarkeit kognitiver Strukturen.

5. Kognitive Prozesse dienen der Identitätswahrung (s.S. 13).

   Neue kognitive Strukturen werden nur dann gebildet, wenn sie der Logik der bereits vorhandenen nicht widersprechen. Das bedeutet nicht, daß jegliche Strukturierung widerspruchsfrei sein muß. Die widerstreitenden Prinzipien "Identitätswahrung" und "notwendige Veränderung durch Rückkopplung" führt zur Konstruktion der "optimalen Diskrepanz".

6. Optimale Diskrepanz ist Motor für Veränderungen der kognitiven Konstruktionen (s.S. 27).

   Diskrepanz kennzeichnet den Prozeß des Abgleichens der situationsabhängig aktivierten kognitiven Struktur mit der Wahrnehmung der darauf folgenden Handlung. Ziel ist der Schutz vor zu großer Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Systems. Bei zu geringer oder zu großer Diskrepanz zwischen situationsabhängig aktivierter Struktur und rückgekoppelter Wahrnehmung ist eine Bearbeitung der Situation mit dieser Struktur nicht zweckmäßig. Optimal ist die Diskrepanz dann, wenn die Struktur adäquat verändert werden kann, um subjektiv befriedigendes Handeln in der Situation zu organisieren.

7. Erwartungen sind Elemente subjektiver Erfahrung (s.S.28).

   Erwartungen regeln die Rückkopplung zwischen Wahrnehmung, Handlung und erneuter Wahrnehmung in einer Situation. Handlungen und Wahrnehmungen werden von Erwartungen organisiert.

1.2 Subjektive Erfahrungsbereiche

Um die Veränderbarkeit kognitiver Strukturen (Lernen im weitesten Sinn) beschreiben zu können, muß eine Vorstellung davon entwickelt werden, wie kognitive Strukturen zu konstruieren sind. Diese Modell darf den genannten Grundsätzen und Prinzipien nicht widersprechen (s.S.24 ff).

1. Kognitionen sind in Bereichen subjektiver Erfahrung organisiert. Sie sind in Situationen als Rückkopplung zwischen Bedeutungszuweisung und individueller Handlung eines Individuums entstanden. Sie sind Klassen von Situationen zuzuordnen und organisieren das Handeln und die Wahrnehmung in einzelnen Situationen.

2. Subjektive Erfahrungsbereiche können sich in einem Generalisierungsprozeß auf Nachbarsituationen ausdehnen und so die Klasse von Situationen vergrößern, zu denen sie eine Beschreibung liefern.

3. Subjektive Erfahrungsbereiche sind lokal begrenzt und halten deshalb das Prinzip der Wahrung der Identität ein. Sie sind auf Teilmengen der kognitiven Welt begrenzt.

4. Subjektive Erfahrungsbereiche besitzen eine Feinstruktur. Die Elemente der Feinstruktur sind die Grundlage einer Beobachterkonstruktion vom Verhalten.

   Als Feinstruktur subjektiver Erfahrungsbereiche wird eine Struktur benutzt, die nicht aus dem Verhalten, sondern in Übereinstimmung mit neurophysiologischer Theoriebildung und der Entwicklung kybernetischer Netze gewonnen wurde. Danach geschieht Wahrnehmung in mehreren Ebenen, die immer komplexere Invariantenbildung ermöglichen. Es entsteht eine Hierarchie aus Objekten, Veränderungen (Eigenschaften), Sequenzen (Beziehungen zwischen Objekten), Beziehungen zwischen Ereignissen, Programmen (Strategien), Prinzipien und Systemen. Diese Hierarchie ermöglicht eine rekursive Veränderung der Wahrnehmung zu immer komplexeren Strukturen (s.S.30 ff).

5. Wissen ist nicht das Wiedererkennen von Wissenselementen, sondern aus konstruktivistischer Sicht die Konstruktion und Aufrechterhaltung von Invarianzen, die in einem Lernprozeß als Determinanten von Handlung erworben wurden (s.S.35).

6. Lernen ist der rekursive Entwicklungsprozeß von Elementen subjektiver Erfahrungsbereiche, der die Veränderung von Verhaltensmöglichkeiten durch Erfahrung zum Inhalt hat. Im Verlauf eines Lernprozesses entstehen Invarianten, die mit zunehmender Komplexität immer konservativer werden. Die zunehmende Konservativität wird durch konstruktionsbedingte Flexibilität ausgeglichen. Es entsteht also durch Lernen eine Konstruktion, die in der Lage ist, Handeln in einer Situation flexibel und mit großer Verhaltens- und Wahrnehmungssicherheit zu organisieren. Der Verlust an Variabilität komplex strukturierter subjektiver Erfahrungsbereiche wird durch einen Gewinn an Verbindbarkeit mit anderen subjektiven Er-

fahrungsbereichen ausgeglichen. Lernen kann es also in verschiedener Hinsicht geben. Zum einen ist es die Entwicklung von Konstruktionen von einer Wahrnehmungsebene zu höheren, zum anderen auch die Entwicklung von Verbindungen gleichrangiger Elemente. Es können etwa Verbindungen zwischen Invarianten einer Wahrnehmungsebene hergestellt werden oder subjektive Erfahrungsbereiche miteinander verbunden werden. Die Verbindbarkeit entwickelt sich mit der Komplexität der gebildeten Struktur (s.S.36).

2 Zum Unterricht

Es wurde eine Unterrichtseinheit "Elektrostatik" geplant und durchgeführt, die lange Phasen handlungsorientierten Unterrichts enthielt. Dies war notwendig für die Durchführung der Analyse, da nur Interaktionen, die über Sprechhandeln hinausgehen, eine Beobachtung von Lernprozessen ermöglichen (s.S.44). Die Unterrichtseinheit sollte den Schülern eine Orientierung zur Konstruktion eines Systems bieten, das mit "elektrischer Spannung" beschrieben werden kann.

3 Zur Methode

Der theoretische Ansatz ergibt u.a., daß Lernprozesse nicht statistisch erfaßbar sind. Es muß ein hermeneutisches Verfahren gewählt werden, um Verhalten von Schülern interpretieren zu können. Die postulierte Situations- und Individuumsabhängigkeit subjektiver Erfahrungsbereiche verlangt außerdem eine Untersuchung an einzelnen Schülern und im Unterricht.

3.1 Grundlegende Annahmen für eine Beobachtung

Die konstruktivistische Betrachtung kognitiver Prozesse muß auch auf den Beobachter angewandt werden. Beobachtung ist demnach die Wechselwirkung zweier selbstreferentieller (semantisch abgeschlossener) Systeme. Ein interpretativer Akt unterstellt immer, daß es intersubjektiven Konsens über Interaktionsanalysen gibt, auch wenn die Interpretation nicht kommuniziert wird. Jede Aussage eines Beobachters über die Interaktionen anderer sind aber Konstruktionen des Beobachters selbst, die vom Beobachteten unabhängig sind. Der Beobachtete hat lediglich einen konnotativen Einfluß auf die Interpretation.

Zum unterstellten Konsens gehört, daß es eine intersubjektiv angewendete Grammatik gibt, die allen Texten der Interaktion gemeinsam ist. Diese Grammatik macht Kommu-

nikation möglich, und ihre Anwendung erlaubt eine erste Strukturierung von Interaktionstexten und ihre Ergänzung, falls sie unvollständig sind (s.S.58).

3.2 Die Durchführung der Analyse

Datenbasis waren Videoaufnahmen von 13 Doppelstunden des durchgeführten Unterrichts. Aufgenommen wurde eine Arbeitsgruppe aus zwei Schülerinnen und einem Schüler. Um eine weitere Bearbeitung des Materials möglich zu machen, müssen Tonprotokolle dieser Videoaufnahmen erstellt werden (s.S. 60). Die Tonprotokolle enthalten alle beobachtbaren Äußerungen und Handlungen der beobachteten Schüler/innen. Darüber hinaus werden alle Interaktionen mit anderen Schülern und dem Lehrer erfaßt. Im nächsten Auswertungsschritt wird versucht, den Handlungsablauf, für die einzelnen Schüler getrennt, in einem Verlaufsprotokoll darzustellen (s.S. 75). Es hat sich erwiesen, daß das Verlaufsprotokoll wichtig ist, den Handlungsablauf für Dritte deutlich zu machen. Für die weitere Analyse wurde es nicht mehr herangezogen. In zukünftigen Untersuchungen kann darauf verzichtet werden. Wesentlich für die Präparierung von Strukturen aus der Interaktion ist dagegen das Ideenprofil (s.S. 89). Ein Ideenprofil ist eine Liste von Ideen einzelner Schüler. Die Handlungen (auch Sprechhandlungen) des Tonprotokolls werden in Kausalsätzen nach Regeln der Kasusgrammatik verarbeitet. Hier kommt es zu einer ersten Standardisierung in der Analyse. Gleiche Handlungsabläufe werden gleich beschrieben. In der folgenden Feinanalyse werden die einzelnen Ideen der Liste nach einer postulierten Hierarchie der Wahrnehmung - Objekt, Eigenschaft, Ereignis, Beziehung, Programm, Prinzip und System - weiter geordnet (s.S. 92).

4. Zur Analyse

Bearbeitet wurden alle Ideen der Ideenprofile einer Schülerin und eines Schülers aus den ersten beiden Doppelstunden und die Ideenprofile einer Schülerin für die restlichen 11 Doppelstunden unter dem Aspekt der Entwicklung des Objekts "Ladung".

4.1 Die Entwicklung von Objekten innerhalb subjektiver Erfahrungsbereiche

Es wird dargestellt, wie sich ein neuer subjektiver Erfahrungsbereich entwickelt. Wie erwartet, werden von den Schülern immer komplexere Wahrnehmungsebenen gebildet. Konstruktionsprinzip ist eine rekursive Entwicklung der Struktur und der permanente Bezug der Ebenen aufeinander. Sind mehrere Ebenen gebildet, dient die Wahrnehmung auf den unteren Ebenen dazu, die jeweils höchste Ebene in ihrer Existenz zu sichern, und die höchste Ebene ist erwartungserzeugend für die unteren Ebenen (s.S. 99 ff, 104, 111).

Die beobachtete Ebenenbildung bezieht sich immer auf die Entwicklung einzelner Objekte in bestimmten Situationen. Die Bildung von neuen, komplexeren Ebenen geschieht durch die Kontrolle der nächst niedrigen. Dies trifft auch für die Organisierung der Handlung durch Prinzipien zu (s.S. 120). Von einer bereits gebildeten Beziehung in einer Situation ausgehend werden durch Anwendung dieser Beziehung in anderen Situationen Situationsklassen gebildet, deren Merkmal das jeweilige aus der Beziehung gebildete Prinzip ist.

Da Ebenenbildung an einzelne Objekte gebunden ist, können innerhalb eines subjektiven Erfahrungsbereichs unmittelbar nacheinander unterschiedlich komplexe Konstruktionen zur Handlungsorganisierung angewandt werden (s.S. 128).

Bei der rekursiven Bildung komplexerer Konstruktionen sind zwei unterschiedliche Beobachtungen über die Funktionen der zugrundeliegenden, weniger komplexen, Konstruktionen zu machen.

1. Die Modifizierung von Objekten, Eigenschaften usw, kann dazu führen, daß das Ausgangsobjekt, die Ausgangseigenschaft usw. verschwindet. Dies ist immer dann der Fall, wenn sich als Folge der Modifizierung auch die Situation (die Erwartung und die Wahrnehmung von einer Situation) geändert hat (s.S. 132, 135). Eine diffuse Vorstellung von "Ladung" z.B. wird von einer bestimmten Entwicklungsstufe an nicht mehr benötigt, weil die neue Situation (der Ladung wird die Eigenschaft zugeordnet, positiv und negativ zu sein) die alte abgelöst hat, Handlung und Wahr-

nehmung also nicht mehr nach den alten Eigenschaften organisiert werden müssen.

2. Die parallele Entwicklung unterschiedlicher Programme zum Ladungsnachweis ist ein Beispiel für die zweite Möglichkeit (s.S. 120, 128, 177). In einer genau festzulegenden Situation wird ein bereits vorhandenes Programm zwar modifiziert, das alte Programm wird aber weiterhin erwartungsgemäß in bestimmten Situationen eingesetzt. Das neue Programm wird auf eine neue Situation angewandt, die neue Situation ist aber nicht aus einer Veränderung der alten durch Modifizierung der Wahrnehmung entstanden. Das neue Programm dagegen konnte nur auf der Basis des alten erzeugt werden. Diese Parallelität kann es auf allen Ebenen der Wahrnehmung geben. Von einem Gegenstand können so mehrere Objekte existieren, die wiederum situationsadäquate Eigenschafts-, Ereignis-, Beziehungs- und Programmzuordnungen erfahren. Charakteristisch für diese Art der Objektbildung aus einem Gegenstand ist die geringe Verbindbarkeit der Objekte. Die Verbindbarkeit nimmt allerdings mit der Bildung von Situationsklassen zu. Unterschiedliche Objekte gleicher Gegenstände werden über Situationsklassen bildende Prinzipien miteinander verbunden (s.S. 120).

4.2 Die interne Logik des subjektiven Erfahrungsbereichs

Es wurde postuliert, daß das kognitive System eines Menschen nur dann verändert wird, wenn die zur Organisierung der nächsten Handlung notwendige Modifizierung der internen Logik nicht widerspricht (s.S. 20 ff). Für einen Beobachter konstruierbares Kontrollelement dieses Prinzips ist die Erwartung an eine Situation (s.S.28 ff). Der Rückkopplungsprozeß wird durch den Begriff "Optimierung von Diskrepanz" beschrieben (s.S. 29).

Mitunter stehen sich deshalb in einem Kommunikationsprozeß konkurrierende Strukturen gegenüber. Die Schüler bilden Konstrukte großer Komplexität, etwa auf Prinzipebene (s.S. 136), die der Logik der bisher (situationsabhängig) gebildeten kognitiven Strukturen nicht widersprechen. Als Prinzip sind diese Strukturen nicht nur komplex, sondern auch in hohem Grade invariant, organisieren Erwartung, Wahrnehmung und Handlung also sehr konservativ. Findet in einer solchen Situation keine Kommunikation statt, oder haben die Schüler nicht die Möglichkeit, durch eigenes Handeln weitere Strukturbildung zu betreiben, stabilisiert sich eine Struktur, die man als physikalisch nicht adäquat bezeichnen kann (s.S. 136). Findet Kommunikation statt, und wird die Möglichkeit weiterer Handlungen durch eine entsprechende Lernumgebung gegeben,

treffen konkurrierende Strukturen aufeinander (s.S.139). Es ist nicht zu erwarten, daß die nicht adäquate kognitive Struktur durch einfache Instruktion geändert wird. Um eine Änderung hochgradig invarianter Strukturen (von der Beziehungsebene an) zu erreichen, ist ein langer und intensiver Kommunikations- und Handlungszusammenhang notwendig (s.S.118 ff). Wieder erweist sich die interne Logik als strukturbestimmend und in hohem Grade resistent für Veränderungen. Ist dann eine Veränderung der Struktur zu erkennen, bezieht sie sich nur auf die Situation, die zu ihrer Veränderung geführt hat (s.S.120). Auswirkungen der Modifizierung von Prinzipien auf deren Kontrollebene (Systemebene) konnten nicht beobachtet werden. Die Modifizierung von Beziehungen führt auf der Prinzipebene dazu, daß ein altes, in einer Situation als nicht adäquat erkanntes Prinzip, in einer neuen, ähnlichen Situation nicht mehr benutzt wird. Was eine ähnliche Situation ist, wird durch die vom Prinzip erzeugte Erwartung bestimmt.

4.3 Die rekursive Entwicklung kognitiver Strukturen

Durch jede Konstruktion größerer Komplexität werden alle Ebenen unter der jeweils höchsten neu geordnet. Diese Neuordnung geschieht unter folgenden Gesichtspunkten:

1. Die einzelnen Objekte, Eigenschaften usw. einer Situation werden neu erklärbar (s.S. 151).

2. Die neu gebildete, komplexeste Struktur wird durch die neue Ordnung bestätigt.

3. Erwartungen und Wahrnehmungen in der Situation werden so organisiert, daß sie der Bestätigung der komplexesten Struktur dienen (s.S. 154 ff, 164).

Die rekursive Entwicklung der Wahrnehmungsebenen führt zu einer Hierarchie. Da die jeweils höheren Ebenen eine größere Sicherheit von Wahrnehmung und Erwartung enthalten, werden die unteren Ebenen zugunsten der Erhaltung der jeweils höheren verändert. Dies erklärt die Anpassung der Wahrnehmung an die Erwartung und die Konstruktion neuer Eigenschaften von Objekten zur Verminderung der Diskrepanz zwischen Erwartung und rückgekoppelter Handlung.

Ob in neuen Situationen eine Verringerung der Diskrepanz angestrebt wird, ob also eine rekursive Entwicklung der kognitiven Struktur überhaupt erfolgt, hängt u.a. auch von der Diskrepanz selbst ab. Zwei Fälle sind zu beobachten, in denen eine Modifizierung nicht erfolgen kann:

1. Die Diskrepanz ist zu klein. Eine Modifizierung kognitiver Elemente ist also nicht notwendig, da die rückgekoppelte Handlung (Ereignis) der Erwartung entspricht (s.S. 166 ff). In entsprechenden Phasen organisierte Handlungen werden von bereits gebildeten Strukturen organisiert, die Strukturen werden dadurch bestätigt und gefestigt (Bereitstellung, Übungseffekt).

2. Die Diskrepanz ist zu groß. In neuen Situationen kann nicht der Situation angemessen gehandelt werden, da grundlegende Eigenschaften oder Beziehungen nicht gebildet werden können (s.S. 173). Die unzureichende Gestaltung der Lernumgebung kann ein Grund hierfür sein. Die Folge ist, daß keine Handlungsziele generiert werden können. Kommt es dennoch zu Handlungen, werden diese von Beziehungen (vielleicht auch Prinzipien) organisiert, die sich in anderen Situationen bewährt haben. Es kommt zu einer nicht adäquaten Handlung (s.S. 174), die von Ersatzkonstruktionen aufrechterhalten wird. Z.B. wird die Handlung fortgeführt, weil der Lehrer es so will.

4.4 Die Orientierbarkeit bei der Bildung kognitiver Konstruktionen

Einfluß auf die Bildung kognitiver Konstruktionen durch orientierende Interaktion hängt von unterschiedlichen Randbedingungen ab. Ein wichtiger Faktor ist, wie bereits dargelegt, der Komplexitätsgrad bereits vorhandener situationsbezogener Konstruktionen:

- Konstruktionen höherer Wahrnehmungsebenen sind komplexer und invarianter als die niedrigerer Ebenen. Sie werden nur sehr schwer grundlegend geändert (s.S. 118), gehen aber leicht Verbindungen mit anderen (eventuell auch angebotenen) Strukturen ein (s.S. 154 ff). Demgegenüber sind Konstruktionen auf der Eigenschaftsebene leicht veränderbar.

Außerdem wird die Veränderbarkeit von der bereits beschriebenen Diskrepanz bestimmt, die Wahrnehmung und Erwartung vergleicht.

- Werden Strukturen angeboten, die den situationsbedingt aktivierten Strukturen des Schülers übergeordnet sind, kann eine Modifizierung im Sinne der orientierenden Ebene nicht erfolgen (s.S. 124 ff, 133 ff). Die Handlungsphase, die dem Lehrervortrag (Systemebene des Lehrers) unmittelbar folgt, enthält als neue Idee lediglich die Eigenschaft negativer und positiver Ladung, beweglich bzw. ortsfest zu sein. Die Orientierung auf einer zu hohen Wahrnehmungsebene führt dazu, daß Schüler häufig nicht von der Orientierung erreicht werden (s.S. 153).

- Orientierung auf gleichem Niveau bewirkt eine Bedeutungszuweisung im Sinne der Orientierung (s.S 158 ff).

- Orientierungen auf niedrigerer Ebene (hauptsächlich Eigenschafts- oder Beziehungsebene) als der situationsbedingt aktivierten werden sofort als eigene Konstrukte benutzt, wenn mit ihnen Handlung organisiert werden kann.

Ein weiterer wichtiger Faktor der Orientierbarkeit ist die Entwicklung der Sprache. Die Relevanz der Sprachentwicklung im Verlaufe eines subjektiven Erfahrungsbereichs für die Entwicklung kognitiver Strukturen kann hier nur angedeutet werden.

4.5 Die Entwicklung der Sprache und die Orientierbarkeit

Ich gehe davon aus, daß der Name eines Objekts eine ihm zugeordnete situationsabhängige Eigenschaft ist. In einer Kommunikationssituation kann den Namen deshalb nicht mehr Bedeutung zugeordnet werden als bisher in allen bereits mit dem Objekt erfahrenen Situationen. Darüber hinaus kann Bedeutung neu zugewiesen werden, da Kommunikationssituationen Situationen sind und Sprechen Handeln ist, können die bereits ausgeführten Prinzipien uneingeschränkt auch auf Sprache angewandt werden.

Wird dieses Postulat auf die Entwicklung des subjektiven Erfahrungsbereichs der beobachteten Schülerin angewandt, ergibt sich folgendes Bild:

In der Anfangsphase der Entwicklung sind Namen als Eigenschaften von Objekten noch nicht gebildet oder mit Bedeutungen belegt, die der rudimentären Entwicklung der kognitiven Struktur zu diesem Zeitraum entsprechen. Kommunizierte Orientierungen des Lehrers bekommen von ihm eine Bedeutung zugeordnet, die sich in der Gesamtstruktur der von ihm benutzten Sprache ausdrückt. Es ist deshalb zu beobachten, daß die Schüler in den ersten Unterrichtsstunden an Vorträgen des Lehrers nicht oder nur neben anderen Tätigkeiten teilnehmen. Die mit fortschreitender Sprachentwicklung im Rahmen des subjektiven Erfahrungsbereichs zunehmende Kommunikationsfähigkeit führt dazu, daß auch mehr kommuniziert wird und eine Orientierung in Kommunikationssituationen immer besser möglich ist (s.S. 189). Diese Aussage ist als Hinweis für weitere Untersuchungen zu sehen.

4.6 Abgeschlossenheit als Ordnungsprinzip eines subjektive Erfahrungsbereichs

Subjektive Erfahrungsbereiche können abgeschlossene Konstruktionen enthalten und selbst, bezüglich anderer subjektiver Erfahrungsbereiche, abgeschlossen sein.

1. Die Abgeschlossenheit von kognitiven Konstruktionen innerhalb eines subjektiven Erfahrungsbereichs bezieht sich auf die Anwendbarkeit situationsabhängig aktivierter Konstruktionen auf andere Situationen. Wie bereits dargelegt, hängt die Bildung von Situationsklassen von der aktivierbaren Wahrnehmungsebene ab. Es ist also zu erwarten, daß die Abgeschlossenheit der Konstruktionen mit abnehmendem Grad der Wahrnehmungsebene steigt. Oder: die Verbindbarkeit der verschiedenen Elemente (Objekte, Eigenschaften, Beziehungen usw.) nimmt mit zunehmendem Grad der Wahrnehmungsebene zu. Ausdruck dieser Entwicklung ist die Bildung eines Systems (s.S. 209) zur Organisierung komplexer Handlungen.

2. Die Abgeschlossenheit subjektiver Erfahrungsbereiche nach außen, gegenüber anderen subjektiven Erfahrungsbereichen, ergibt sich aus der Tendenz selbstreferentieller Systeme, ihre Identität zu wahren. Ergebnis dieser Tendenz ist ein dialektischer Prozeß zwischen der Entwicklung der kognitiven Struktur eines subjektiven Erfahrungsbereichs und der für die Handlungsfähigkeit notwendigen Vergrößerung der von ihm beschriebenen Situationsklassen. Die Entwicklung der kognitiven Struktur erfolgt, wie bereits beschrieben, nach einer internen Logik, die im Laufe des Lebens des jeweiligen Menschen entwickelt wurde.

Die Abgeschlossenheit interner Konstruktionen eines subjektiven Erfahrungsbereichs war, wie unter 1. beschrieben, ständig zu beobachten. Die Abgeschlossenheit des gesamten subjektiven Erfahrungsbereichs gegenüber anderen kann nur vermutet werden. In der Endphase der Unterrichtseinheit war eine komplexer subjektiver Erfahrungsbereich "Erfahrung mit Elektrostatik" (SEB 1) zu erkennen, die organisierende Wahrnehmungsebene war die Systemebene. Dieser subjektive Erfahrungsbereich wurde nicht benötigt, um die Handlungen beim Umgang mit elektrischen Schaltungen in der 13. Doppelstunde zu organisieren. Hier war ein neuer subjektiver Erfahrungsbereich (SEB 2) zu erkennen. Die Videoaufnahmen von weiteren 7 Doppelstunden liegen vor. Es besteht also die Möglichkeit, die Entwicklung der Verbindbarkeit des SEB 1 mit anderen subjektiven Erfahrungsbereichen am vorliegenden Datenmaterial zu analysieren. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, daß die kognitive Welt einer beobachteten Schülerin tatsächlich in Bereichen organisiert ist, die subjektive Erfahrung situationsabhängig aktivierbar machen (s.S. 213).

5 Schlußwort

In der vorliegenden Arbeit wurden Denk- und Lernprozesse einzelner Schüler im Unterricht aus radikal-konstruktivistischer Sicht dargestellt und die notwendige theoretischen und methodischen Grundlagen hierfür erarbeitet. Der hierfür notwendige Unterricht wurde geplant. Während der Durchführung des Unterrichts wurden Fallstudien von einzelnen Schülerinnen/Schülern nach einer Video-Dokumentation erstellt.

Über einen Unterrichtszeitraum von 13 Doppelstunden konnte, nach einer selbst entwickelten Analysemethode, Strukturen des Denkens einer Schülerin dargestellt und die Entwicklung dieser Strukturen sichtbar gemacht werden.

Notwendigerweise sind Aussagen aus Fallstudien auf den Fall beschränkt. Dies betrifft die Möglichkeit die Aussagen über die untersuchten Schüler zu verallgemeinern ebenso, wie die inhaltliche Auswahl. Eine Verallgemeinerung gelingt nur über einen theoretischen Ansatz, der interindividuell legitimiert ist und durch die Falluntersuchung bestätigt werden kann. Die Zweckmäßigkeit und Legitimität des in dieser Untersuchung benutzten theoretischen Ansatzes konnte gezeigt werden. Dennoch ist eine allgemeine Aussage über Denk- und Lernprozesse verfrüht. Weitere Untersuchungen müssen die gefundenen Strukturen und die Beschreibung des Entwicklungsprozesses bestätigen.

Außerdem wird die Auswertung des Datenmaterials auch durch die Aufgabenstellung begrenzt. Der Blick auf Denk- und Lernprozesse läßt z.B. nur eine untergeordnete Berücksichtigung von Kommunikationsprozessen zu. Weiterer Untersuchungsbedarf besteht deshalb in verschiedener Hinsicht:

- Das vorhandene Datenmaterial kann bezüglich weiterer Objekte ausgewertet werden.
- Das vorhandene Datenmaterial von 20 Doppelstunden kann weiter im Hinblick auf die Verbindbarkeit mehrerer subjektiver Erfahrungsbereiche ausgewertet werden.
- Die Analyse kann auf einen zweiten Schüler ausgeweitet werden, um so einen Vergleich der Bildungsprozesse kognitiver Strukturen zu ermöglichen.
- Das vorhandene Datenmaterial kann im Hinblick auf Kommunikationsprozesse ausgewertet werden.

- Um Aussagen über die Verbesserung von Unterricht zu erhalten können vergleichende Untersuchungen durchgeführt werden, in denen unterschiedliche Kommunikationsstrategien erprobt und analysiert werden.

- Die theoretischen Grundlagen sollten in Bezug auf "Kommunikation" und "Verhalten" weiterentwickelt werden.

- Es müßte eine Überprüfung der Methode im Hinblick auf eine Vereinfachung und Verkürzung des Auswerteverfahrens erfolgen, um Datenmengen in großem Umfang konsistent auswerten zu können.

- Die Methode müßte hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf die Analyse von Kommunikationsprozessen überprüft werden.

Durch die Bearbeitung dieser Fragestellungen könnte eine Neuorganisation von Unterricht versucht werden:

Physikunterricht ist häufig davon geprägt, daß der Lehrer Fragen stellt und erwartet, daß seine Schüler die Antworten geben, die er selbst für die Beantwortung dieser Fragen vorgesehen hat. Hat der Schüler dieses System von Fragen und Antworten "gelernt", hat er Erfolg. Zufällig oder nach der Methode "steter Tropfen höhlt den Stein" gelingt die Bildung von Beziehungen, Prinzipien und Systemen im Sinne meiner Untersuchung. Eine Berücksichtigung kognitiver Entwicklungen findet in den seltensten Fällen statt.

In der Untersuchung ist deutlich geworden, daß Kommunikation bei der Bildung von Strukturen eine entscheidende Rolle spielt. Nach den hier gewonnenen Erkenntnissen sollte ein Versuch unternommen werden, Physikunterricht *kommunikativ* zu gestalten. Einzelne Prinzipien eines solchen Unterrichts gehen aus der Untersuchung hervor. Die Lernumgebung in der Schule müßte so gestaltet werden, daß der Einsatz von Ersatzkonstruktionen bei der Organisierung von Handeln im Unterricht nicht gefördert wird.

Literatur:

Aebli, H.
Denken: Das Ordnen des Tuns. Band I.
Stuttgart (1980)

Aebli, H.
Denken: Das Ordnen des Tuns. Band II.
Stuttgart (1981)

v. Aufschnaiter, S.
Lernziele im Visier. Physica didactica 13. Sonderheft
(1986)

v. Aufschnaiter, S./Prüm, R./Schwedes, H.
Spielen und Spielorientierung im Physikunterricht. In: Naturwissenschaften im Unterricht (Physik/Chemie), Heft 8.
Köln (1984)

Ausubel, D.P., Novak, J.D., Hanesian, H.
Psychologie des Unterrichts. Band 1.
Weinheim (1980)

Bauersfeld, H.
Subjektive Erfahrungsbereiche als Grundlage einer Interaktionstheorie des Mathematiklernens und -lehrens. In: Untersuchungen zum Mathematikunterricht. IDM.
Köln (1983)

Blumer, H.
Der methodologische Standort des symbolischen Interaktionismus. In: Alltagswissen, Interaktion und gesellschaftliche Wirklichkeit, Band 1, Arbeitsgruppe Bielefelder Soziologen (Hrsg).
Reinbek (1973)

Bower, G.H./Hilgard, E.R.
Theorien des Lernens.
Stuttgart (1984)

Bracht, E./Buck, P.
Computergesteuerte Bandwiedergabe als Instrument der Unterrichts- und Gesprächsanalyse. In: Zur Didaktik der Physik und Chemie, Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Nürnberg 1987.
Alsbach/Bergstr. (1988)

Clough, E.E./Driver, R.
A Study of consistency in the use of student's conceptual frameworks across different task contexts. In: Science Education 70 (4): 473 - 496
(1986)

Döbert, R./Habermas, J./Nunnert - Winkler
Entwicklung des Ichs.
Köln (1977)

Driver, R.
Promoting conceptual change in classroom settings: The experience of the children's learning in science project. In: Proceedings of the 2nd Int. Seminar "Misconceptions and educational strategies in sience and mathematics", Voll.II. Novak, J. (Hrsg.). (97 - 107)
Ithaca, Cornell University (1987)

Dudeck, W.G./Fischer, H.E.
Abschlußbericht an den Senator für Bildung, Wissenschaft und Kunst für das Vorhaben: Entwicklung einer spielorientierten Unterrichtseinheit zum Erwerb des Spannungsbegriffs in der Sekundarstufe I.
Bremen (Juni 1989)

Fillmore, Ch.J.
Some problems for case grammar.
Göteborg (1972)

v. Glasersfeld, E.
Siegener Gespräche über Radikalen Konstruktivismus (1982,1984). In: Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus. Schmidt, S.J (Hrsg).
Frankfurt am Main (1988)

Habermas, J.
Theorie des kommunikativen Handelns. Band 1.
Frankfurt am Main (1981)

Habermas, J
Theorie des kommunikativen Handelns. Band 2.
Frankfurt am Main (1985)

Herbart, J.F.
Psychologie als Wissenschaft. Zweiter, analytischer Theil. Nachdruck der Ausgabe von (1850).
Amsterdam (1968).

Jung, W.
Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: Naturwissenschaften im Unterricht - P/C 34, Nr. 13.
(1986)

Klaus, G.
Kybernetik und Erkenntnistheorie.
Berlin (1972).

Klix, F.
Information und Verhalten.
Bern (1976)

Leontjew, A.N.
Probleme der Entwicklung des Psychischen.
Kronberg (1977).

Lettvin, J.Y./Maturna, H.R./McCulloch, W.S./Pitts, W.H.
What the frog's eye tells the frog's brain. In: Proceedings of the institute of radio engineers, 47
New York (1959) II

Maichle, U
Wissen, Verstehen und Problemlösen im Bereich der Physik.
Frankfurt/Bern/New York (1985)

Maichle, U
Wissen und Verstehen im Physikunterricht: Diagnose auf kognitionspsychologischer Grundlage. In: Physica didactica 13, Sonderheft.
(1986)

Maturana, R.M.
Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit.
Braunschweig/Wiesbaden (1985)

Norman, D.A./Rumelhart, D.E.
Strukturen des Wissens.
Stuttgart (1978)

Novak,J.D.
Human constructivism: Toward a Unitiy of psychological and epstemological meaning making. Paper presented at the second international seminar on misconceptions and educational strategies in sience and mathematics education.
Ithaca, NY (27.07.1987)

Nystedt, L. and Magnusson, D.
Construction of experience. In: Mancuso, J. and Adams-Webber, J. (Hrsg.): The constructing person.
New York (1982)

Oerter, R.
Steuerungskomponenten bei kognitiven Prozessen im Bereich schulischen Lernens. In: Frey,K. und Lang,M (Hrsg.): Kognitionspsychologie und naturwissenschaftlicher Unterricht.
Bern (1973)

Oevermann, U./Allert, T./Konau, E./Krambeck, J.
Die Methodologie einer >>objektiven Hermeneutik<< und ihre allgemeine forschungslogische Bedeutung in den Sozialwissenschaften. In: Soeffner, H.G. (Hrg.): Interpretative Verfahren in den Sozial- und Textwissenschaften.
Stuttgart (1979)

Paivio, A.
Mental Representations.
New York (1986)

Powers, W.T.
Behaviour: The control of perceptions.
Chicago (1973)

Prüm, R
Rekonstruktion von Lernprozessen einzelner Schüler der Orientierungsstufe zu Themen der Elektrizitätslehre. Unveröffentlichtes Manuskript. Universität Bremen, Fachbereich Physik/Elektrotechnik
(1988)

Radigk, W
Kognitive Entwicklung und zerebrale Dysfunktion.
Dortmund (1986)

v. Rhöneck, Ch.
Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis. In: Naturwissenschaften im Unterricht - P/C 34, Nr.13.
(1986)

Richards, J. und von Glasersfeld, E.
Die Kontrolle von Wahrnehmung und die Konstruktion von Realität. In: Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus. Schmidt, S.J (Hrsg).
Frankfurt am Main (1988)

Roth, G.
Die Selbstreferentialität des Gehirns und die Prinzipien der Gestaltwahrnehmung. Gestalt Theory, Vol. 7, Nr. 4, (288 - 244)
(1985)

Roth, G.
The brain as a self-referential cognitive System. Unveröffentlichtes Manuskript. Universität Bremen, Fachbereich Biologie (Version vom 6.3.1988)

Rumelhart, D.E.
The building blocks of cognition. In: Theoretical issues in reading comprehension. Spiro, R.J./Bruce, B.C./Brewer, W.F. (Hrsg).
Hillsdale (1980)

Schmidt, S.J.
Der Radikale Konstruktivismus: Ein neues Pradigma im interdisziplinären Diskurs. In: Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus. Schmidt, S.J (Hrsg).
Frankfurt am Main (1988)

Schecker, H.
Das Schülervorverständnis zur Mechanik. Dissertation an der Universität Bremen, Fachbereich 1.
(1985)

Seiler, T.B.
Kognitive Strukturiertheit.
Stuttgart (1973)

Stadler, M./Kruse, P.
Über Wirklichkeitskriterien. Unveröffentlichtes Manuskript. Universität Bremen, Fachbereich Psychologie.
Bremen (1988)

Die vorgelegte Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Physik der Universität Bremen.

Herrn Prof. Dr. v. Aufschnaiter danke ich für die Betreuung meiner Arbeit. Gemeinsame Diskussionen haben entscheidend zum Fortgang der Forschungsarbeiten beigetragen. Die Theoriebildung wurde durch sein persönliches Engagement besonders befördert.

Frau Prof. Dr. H. Schwedes danke ich für die Unterstützung der Arbeit durch kritisches Hinterfragen einzelner Positionen in vielen Gesprächen. Ich konnte so einige meiner Ideen modifizieren und klarer darstellen.

Herrn Prof. Dr. G. Roth danke ich für wichtige Impulse bei der Aufarbeitung und Darstellung der theoretischen Grundlagen.

Meinen Kolleginnen und Kollegen der WE Didaktik danke ich für zahlreiche Diskussionen und Verbesserungsvorschläge.

Die Planung der Unterrichtseinheit und die Durchführung der Untersuchung wäre ohne die sachkundige und intensive Zusammenarbeit mit dem Lehrer Herrn W. G. Dudeck nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt den vielen Schülern, die sich in Voruntersuchungen und der Untersuchung selbst zur Video-Aufnahme ihrer Tätigkeit im Physikunterricht zur Verfügung stellten und die besonderen Belastungen einer solchen Situation auf sich nahmen.